

# Modelle der Landnutzung in den neolithischen Feuchtbodensiedlungen des nordwestlichen Alpenvorlandes

Inauguraldissertation  
zur  
Erlangung der Würde eines Doktors der Philosophie  
vorgelegt der  
Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Basel

von

Tilman Baum  
aus Deutschland

2019

Genehmigt von der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

auf Antrag von

Prof. Dr. Jörg Schibler  
PD Dr. Renate Ebersbach  
Prof. Dr. Martin Furholt

Basel, den 17.10.2017

Prof. Dr. Martin Spiess  
Dekan der Naturwissenschaftlich-  
Philosophischen Fakultät

Statt eines Vorworts

## Der Pfahlmann

Dichtqualmende Nebel umfeuchten  
Ein Pfahlbaugerüstwerk im See,  
Und fern ob der Waldwildnis leuchten  
Die Alpen in ewigem Schnee.

Ein Mann sitzt auf hölzernem Stege  
In Felle gehüllt, denn es zieht;  
Er schnipft mit der Feuersteinsäge  
Ein Hirschhorn und summt sein Lied:

»Da seht mein geschwollen Gesichte  
Und seht, wie bei Durchzug und Wind  
Der Ureuropäer Geschichte  
Mit Rheuma und Zahnweh beginnt.

Zwar klopft' ich mit steinernen Beilen  
Und Keulen mir Bahn durch die Welt  
Doch ist ein gemütlich Verweilen  
Noch täglich in Frage gestellt.

Im Wald stört das Raubtier mit Schreien  
Den Schlaf im durchhöhlten Stamm,  
Und bau' ich mein Hüttlein im Freien,  
So stampft mir's der Urochs zusamm'.

Drum lern't' ich vom biederem Biber  
Und stelle als Wohnungsbehilf,  
Je weiter vom Festland je lieber,  
Den Pfahldamm in Seegrund und Schilf.

Auch hier muss ich vieles noch meiden,  
Was späterer Zeit einst gefällt:  
Gern trüg' ich ein Schwert an der Seiten  
– Es gibt weder Eisen noch Geld.

Gern zög' ich Gewinn vom Papiere  
– Noch sind keine Börsen gebaut;  
Gern ging' ich des Abends zum Biere  
– Es wird noch keines gebraut.

Und denk' ich der Art, wie wir kochen,  
Gesteh' ich selber: 's ist arg.

Wir spalten dem Torfschwein die Knochen  
Und saugen als Kraftsaft das Mark.

Wie kann sich der Geist da schon lenken  
Auf höh'eres Kulturideal?  
In all unserm Fühlen und Denken  
Steckt rammeltief Pfahl neben Pfahl.«

Der Mann sang's mit heiserer Kehle,  
Da schwoll mit dem Rheuma sein Grimm,  
Zwei Bären beschlichen die Pfähle  
Und schnupperten kletternd nach ihm.

Da schmiß er zum Pfahlküchenkehricht  
Beil, Hirschhorn und Trinkkrug von Ton,  
Sprang husch! wie ein Frosch ins Geröhricht  
Und schwamm mit Fluchen davon.

Wo einst man die Stätte errichtet  
Zum keltischen Seehüttendorf,  
Ruht jetzt eine Fundschicht geschichtet,  
Tief unter dem Seeschlamm und Torf.

Der diesen Gesang schuf zum Singen,  
Hat selber den Moder durchwühlt  
Und bei den gefundenen Dingen  
Einen Stolz als Kulturmensch gefühlt.

*Victor von Scheffel (1868)*

## Danksagung

Ich möchte mich bei einigen Personen bedanken, die für das Zustandekommen dieser Arbeit wichtig waren.

Dr. Helmut Schlichtherle und die Mitarbeiter der Außenstelle Hemmenhofen des Landesamtes für Denkmalpflege Baden-Württemberg haben mir erst im Rahmen eines Praktikums, später bei zahlreichen Grabungseinätzen, Diskussionen und Auftragsarbeiten sehr viel Anregung gegeben.

Dr. Martin Mainberger und Adi Müller haben mir beigebracht, als Archäologe unter Wasser zu arbeiten und dabei hinter den ungezählten Scherben und Pfahlbruchstücken immer auch die weiterführenden Zusammenhänge mitzudenken. Ihnen und den weiteren Kollegen aus der Unterwasserarchäologie am Bodensee verdanke ich – neben einigen halberfrorenen Gliedmassen – viele spannende Taucheinsätze in den Seen Südwestdeutschlands.

Dr. Claas Nendel vom Zentrum für Agrarlandschaftsforschung in Müncheberg hat auf meine Anfrage nach Nutzung seines Modelles mit großer Offenheit und Interesse geantwortet. Die Ertragssimulation wäre ohne ihn nicht möglich gewesen.

Dr. Renate Ebersbach hat schon meine Diplomarbeit von der Uni Basel aus begleitet und war für mich später als Betreuerin meiner Doktorarbeit sehr wichtig. Sie hat meine Idee von Anfang an unterstützt und immer wieder durch kritisches Nachfragen wertvolle Impulse gegeben.

Meine Eltern haben mir während meiner Kindheit und Jugend Ihre Liebe zur Natur und die Faszination für Landschaften weitergegeben. Sie haben mich in meinem Werdegang immer mit vollem Rückhalt unterstützt, wofür ich Ihnen unglaublich dankbar bin.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung.....</b>	<b>9</b>
1.1 Fragestellung.....	10
1.2 Aufbau der Arbeit.....	12
<b>2 Methode.....</b>	<b>13</b>
2.1 Modelle und agentenbasierte Simulation in der Archäologie.....	13
2.2 Agentenbasierte Simulation und geografische Informationssysteme (GIS): Modelle des sozio-ökologischen Systems archäologisch dokumentierter Siedlungen.....	14
2.3 Vorgehen in dieser Arbeit.....	15
<b>3 Die Umwelt der neolithischen Moor- und Seeufersiedlungen im Unter-     suchungsgebiet.....</b>	<b>17</b>
3.1 Das Untersuchungsgebiet.....	17
3.2 Geologie und Bodenverhältnisse.....	18
3.3 Klima.....	19
3.4 Natürliche Pflanzengesellschaften und Waldbedeckung.....	22
3.4.1 Zur Dynamik natürlicher, unbeeinflusster Waldgebiete.....	24
<b>4 Die Neolithischen Siedlungen im Untersuchungsgebiet.....</b>	<b>26</b>
<b>5 Existierende Modelle von Landnutzung und Ernährung in den neolithi-     schen Moor- und Seeufersiedlungen.....</b>	<b>27</b>
5.1 Quellenlage.....	27
5.2 Kulturpflanzenanbau.....	28
5.2.1 Arten- und Sortenspektrum während des Jung- bis Endneolithikums.....	28
5.2.2 Anbauverfahren.....	29
5.3 Viehhaltung.....	35
5.4 Nahrungsversorgung der Siedlungen.....	36
5.5 Waldnutzung und Holzgewinnung.....	38
<b>6 Simulation prähistorischer Getreideerträge.....</b>	<b>39</b>
6.1 Hintergrund.....	39
6.2 Fragestellung.....	41
6.3 Beschreibung des Modells.....	42
6.3.1 Methode der Ertragssimulation mit MONICA.....	42
6.3.2 Das maximale Ertragspotenzial der simulierten Getreideart unter idealen Bedingungen .....	42
6.3.3 Wetterdatensatz mit tagesgenauer Auflösung.....	43
6.3.4 Chemische und physikalische Bodeneigenschaften.....	44
6.3.5 Quantifizierung der Düngergaben in den Anbauverfahren.....	45
6.3.6 Die Definition von Versuchen für die Ertragssimulation.....	45

6.4 Ergebnisse und Diskussion der Getreideertragssimulation mit MONICA.....	46
6.4.1 Die Auswirkung der pflanzenverfügbaren Nährstoffe auf die mittleren Erträge.....	47
6.4.2 Die Auswirkung eines Fruchtwechsels mit Leguminosen auf die Höhe der Erträge.....	49
6.4.3 Die Auswirkung von Brachen und deren Dauer auf die Höhe der Erträge.....	50
6.4.4 Die Auswirkung der Korngröße des Bodens auf die Erträge.....	51
6.4.5 Die Auswirkung von Temperatur, Feuchtigkeit und Höhenlage auf die Erträge.....	51
6.5 Bewertung der Ergebnisse.....	53
6.6 Fazit zur Simulation von Getreideerträgen.....	54

## **7 Simulation des Getreideanbaus: das Modell WELASSIMO\_feldbau.....56**

7.1 Hintergrund.....	56
7.2 Fragestellungen.....	57
7.3 Beschreibung des Modells.....	57
7.3.1 Methode der agentenbasierten Simulation mit WELASSIMO_feldbau.....	57
7.3.2 Die Generierung der Modellumwelt zum Zeitpunkt t=0.....	60
7.3.3 Die menschliche Besiedlung zum Zeitpunkt t=0.....	64
7.3.4 Der Ablauf der Simulation im Detail.....	69
7.4 Ergebnisse der Simulation mit WELASSIMO_feldbau.....	74
7.4.1 Überblick über die Ergebnisse.....	75
7.4.2 Ausdehnung der feldbaulich genutzten Fläche um die Siedlungen.....	75
7.4.3 Quantifizierung des Flächenbedarfs und der erforderlichen Anzahl Rinder in den Szenarien S1-S4.....	77
7.4.4 Höhe der Erträge und potenzieller Beitrag des Getreides an der Kalorienversorgung in den Szenarien S1-S4.....	80
7.4.5 Quantifizierung der monatlichen Arbeitsbelastung für Feldbau in den Szenarien S1-S4.....	84
7.4.6 Berechnung der Produktivität der Szenarien.....	89
7.5 Diskussion der Ergebnisse.....	90
7.5.1 Kritische Betrachtung der Quellen- und Datenlage.....	90
7.5.2 Wie plausibel sind die definierten Parameter der Szenarien S1-S4?.....	92
7.6 Fazit zur Simulation des Getreideanbaus mit WELASSIMO_feldbau.....	99
7.7 Zwei Fallstudien: Hornstaad-Hörnle 1A und Sipplingen-Osthafen.....	99
7.7.1 Fallstudie: Hornstaad-Hörnle 1A.....	99
7.7.2 Fallstudie: Sipplingen-Osthafen, Schicht 9.....	108

## **8 Simulation des Flächenbedarfs für die Subsistenzwirtschaft: Das Modell**

### **WELASSIMO\_fläche.....113**

8.1 Fragestellung.....	113
8.2 Beschreibung des Modells.....	113
8.2.1 Methode der agentenbasierten Simulation mit WELASSIMO_fläche.....	114
8.2.2 Die Definition von Landschaftsszenarien.....	115
8.2.3 Das Ressourcenangebot der Landschaftselemente.....	119
8.2.4 Das kombinierte Ressourcenangebot der Landschaftsszenarien.....	124
8.2.5 Die Definition von ökonomischen Szenarien.....	130
8.2.6 Die Simulation des Feldbaus.....	131
8.2.7 Die Integration der Rinderhaltung.....	132
8.2.8 Die Integration von Jagen, Sammeln und Fischfang.....	136
8.2.9 Die Integration der Bauholznutzung.....	141
8.2.10 Die Integration der Brennholznutzung.....	146
8.3 Ergebnisse der Simulation: Der Flächenbedarf für die Subsistenzwirtschaft.....	149

8.3.1 Grundeinstellungen der Simulation.....	149
8.3.2 Die Auswirkung der Landschaftsszenarien LD_S1-LD_S6.....	149
8.3.3 Die Auswirkungen der ökonomischen Szenarien OES_1b bis OES_5b.....	161
8.4 Modellbildung.....	164
8.4.1 Ein Modell des Flächenbedarfs eines Hauses für ökonomische Aktivitäten.....	164
8.4.2 Kommentar zur Gültigkeit des Modells.....	167
8.5 Fazit zur Simulation des Flächenbedarfs mit WELASSIMO_FLÄCHE.....	167
<b>9 Fallstudie: die Anwendung von WELASSIMO_fläche auf das Untersuchungsgebiet Zürichsee (ZÜRISSIMO).....</b>	<b>167</b>
9.1 Hintergrund.....	170
9.2 Fragestellungen.....	171
9.3 Methode.....	171
9.3.1 Die Erstellung der Rasterkarte für ZÜRISSIMO.....	171
9.3.2 Die Modifikation des Siedlungsdatensatzes.....	173
9.3.3 Die Verwendung der Szenarien ZÜS_1a bis ZÜS_5b.....	175
9.3.4 Die Kriterien der Flächenwahl in der Simulation.....	177
9.4 Ergebnisse der Fallstudie ZÜRISSIMO.....	178
9.4.1 Zeitraum 1: Cortaillod, um 3903 v. Chr.....	179
9.4.2 Zeitraum 2: Pfyn, 3750 v. Chr.....	182
9.4.3 Zeitraum 3: Schnurkeramik, 2720 v. Chr.....	187
9.5 Fazit zur Fallstudie ZÜRISSIMO.....	193
<b>10 Synthese und Formulierung eines alternativen Modells.....</b>	<b>194</b>
10.1 Ist der Brandfeldbau geeignet als Modell für den Getreideanbau in der Untersuchungseinheit?.....	194
10.2 Ist der permanente Gartenfeldbau ein besser geeignetes Modell für den Getreideanbau?.....	198
10.3 Skizzierung eines neuen Modells des sozio-ökologischen Systems der Feuchtbodensiedlungen im nordwestlichen Alpenvorland: integrierter Waldfeldbau.....	199
10.4 Ausblick.....	202
<b>11 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>203</b>
<b>12 Anhang.....</b>	<b>258</b>
12.1 Getreideerträge und Deckungsbeträge für verschiedene Szenarien.....	258
12.2 Angaben zu Baumzahlen aus verschiedenen Untersuchungen.....	260
12.3 ODD-Protokoll des Modells WELASSIMO_feldbau.....	262



# Teil I: Grundlagen

## 1 Einleitung

Die prähistorischen Feuchtboden- und Pfahlbausiedlungen des zirkumalpinen Raums sind seit dem Jahr 2011 in die Liste des Weltkulturerbes der Menschheit aufgenommen (Suter und Schlichtherle 2009). Die Fundstellen weisen aufgrund ihrer Ablagerungsbedingungen ein einzigartiges Potential zur Erforschung verschiedenster Aspekte der Lebensrealität im Alpenvorland zwischen 5000–500 v. Chr. auf. Während unter trockenen Bedingungen an Land in der Regel lediglich anorganische und verkohlte Materialien überdauert haben, sind unter feuchten und sauerstoffarmen Verhältnissen auch organische Überreste erhalten. Zum Zweck ihrer Erforschung hat sich seit der Entdeckung der „Pfahlbauten“ vor über 150 Jahren ein umfangreiches Methodenspektrum etabliert (Menotti und O’Sullivan 2013, Menotti 2004).

Die Analyse der Jahrringe in den geborgenen Hölzern erlaubt detaillierte Aussagen zur Größe, Nutzungsdauer und Dynamik von Häusern und Siedlungen (z.B. Billamboz 2006; Bolliger 2013; Ebersbach 2010a; Suter und Francuz 2010 ) sowie Aussagen über ökologische Bedingungen in den genutzten Waldbeständen gemacht werden (Billamboz und Köninger 2008; Bleicher 2009). Durch die Untersuchung von Knochen und Fischresten sind Vorkommen, Nutzung, ökonomische Bedeutung und ökologische Lebensbedingungen von Wild- und Haustieren erschließbar (Deschler-Erb und Marti-Grädel 2004; Ebersbach 2013; Hüster-Plogmann 2004; Kerdy et al. 2018; Schibler 2006; Schibler et al. 1997). Reste von Wild- und Nahrungspflanzen geben Aufschluss über ihre wirtschaftliche Bedeutung, ihre Wachstumsbedingungen und die Vegetationszusammensetzung der Siedlungsumwelt (Antolin 2016a; Hosch und Jacomet 2004; Jacomet 2014, 2009; Maier 2004, Maier et al. 2001; Styring et al. 2016). Auf Grundlage von Pollenanalysen können Aussagen zu Waldbedeckung und -komposition sowie Landnutzungsverfahren abgeleitet werden (Haas und Hadorn 1998; Lechterbeck 2001; Rösch und Lechterbeck 2016; Rösch et al. 2014). Synthetische Untersuchungen erlauben die Ableitung von Modellen zur Ernährungsweise in den Feuchtbodensiedlungen (Ebersbach 2003; Gross et al 1990), zur Bedeutung der Rinderhaltung (Ebersbach 2002), zu Bewirtschaftungsformen und Bedeutung des Waldes als Holzquelle (Billamboz 2014) oder zu Methoden, Verfahren und Rahmenbedingungen des Getreideanbaus (Jacomet et al. 2016; Rösch et al. 2014). Aus diesen Untersuchungen lässt sich das folgende stark generalisierende Bild ableiten:

Zwischen 4300 und 2700 v. Chr. lebten die Menschen im nordwestlichen Alpenvorland in recht kleinen Gemeinschaften von 50–500 Personen. Sie bauten Siedlungen in den Flachwasserzonen von Seen und in Mooren. Häufig standen ihre Häuser auf Pfählen und waren damit echte Pfahlbauten, jedoch sind auch ebenerdige, allenfalls leicht abgehobene Konstruktionen bekannt. Diese Häuser waren aus Holz gebaut, wobei Eiche und Esche besonders begehrtes Bauholz darstellte. Da jedoch auch diese Holzarten im feuchten Milieu nur eine recht kurze Lebensdauer haben, betrug der gesamte Nutzungszeitraum trotz häufiger Reparaturen häufig nur wenige Jahre. Die Siedlungen wurden selten für mehr als 10-20 Jahre genutzt; allerdings lässt sich kein einheitliches Anfangs- und Enddatum feststellen, sondern eher ein kontinuierlicher und dynamischer Prozess von Neubau und Aufgabe der Häuser. Die Begründung dieser hohen Siedlungsdynamik ist unklar; die bauartbedingte hohe Vergänglichkeit der Konstruktionen ist zwar belegt, jedoch erklärt sie nicht, warum einer - zeitlich gestreuten - kompletten Aufgabe der Siedlungen gegenüber einem immer wieder erfolgten Neubau an Ort und Stelle der Vorzug gegeben wurde.

Die Menschen betrieben Feldbau und kultivierten Getreide und Erbsen, Mohn und Flachs; sie hielten Kühe, Schweine, Ziegen und Schafe, betrieben Fischfang und Jagd und sammelten wildwachsende

Pflanzen. Außerhalb der unmittelbaren wirtschaftlichen Nutzungsräume war Wald das beherrschende Vegetationselement; ohne menschlichen Einfluss wäre im Alpenvorland auf den allermeisten Flächen ein dichter Buchenmischwald gewachsen. Aus diesem Grund waren die ökonomischen Aktivitäten eng an natürliche Prozesse gekoppelt. So wuchs geeignetes Bauholz unter bestimmten Bedingungen besser als unter anderen. Viehfutter war wegen kaum vorhandenen Grünlandes rar, weshalb zusätzlich Laubfutter von den Bäumen geschneitelt werden musste. Weil sowohl Getreide als auch andere begehrte Nahrungspflanzen wie Haselnüsse oder Beeren offenere Bedingungen gegenüber einem dichten Wald bevorzugen, wurden anthropogene Feuer gezielt eingesetzt, um den Wald zurückzudrängen. All diese Prozesse hatten einen Einfluss auf die Landschaftsentwicklung; Der Untersuchung der Landschaft, dem eigentlichen Wortsinn nach „geschaffenes Land“, kommt daher eine besondere Bedeutung zu. Sie fungierte im Neolithikum wie zu allen Zeiten als Wirkraum für das System aus Mensch und Umwelt und stellt somit ein Archiv dar, in welchem Zeugnisse dieses Systems enthalten sind.

## 1.1 Fragestellung

Diese Beschreibung ist nun völlig qualitativ; welche genaue Bedeutung aber hatten die einzelnen Nahrungsbestandteile? Wie weit mussten die Menschen ihre Nutzungsräume über die Siedlungen hinaus ausdehnen, um ausreichend zusätzliche Kalorien durch Jagd, Fischfang und Sammelwirtschaft zu erwerben? Und welche Auswirkungen hatten die Prozesse menschlicher Landnutzung auf die Verfügbarkeit der Ressourcen?

Die größte Beachtung erhält in dieser Arbeit der Komplex der Nahrungsgewinnung, insbesondere der Getreideanbau. Hierzu sind in den vergangenen Jahren zwei Hypothesen entwickelt worden, die sich jeweils auf eine gut untersuchte Datenbasis ihrer jeweiligen Forschungsdisziplin abstützen, sich jedoch grundlegend voneinander unterscheiden.

Die eine Hypothese besagt, dass die Menschen Felder auf besonders geeigneten Böden anlegten und diese über den Verlauf von mehreren Jahren mehr oder weniger intensiv bewirtschafteten. Bestimmte Bewirtschaftungsmethoden wie die Einhaltung von Brachzeiten, ein verbessertes Pflanzenwachstum durch Mischanbau mit Hülsenfrüchten, oder die Düngung mit Exkrementen könnten die Erträge gesteigert haben. Durch die Fortdauer und die spezifische Art des Anbaus auf der gleichen Fläche über mehrere Jahre hätte sich auf den Feldern eine bestimmte Pflanzengesellschaft etabliert, die sich heute mit den Methoden der Archäobotanik untersuchen lässt. Dieses Modell wird als permanenter oder gartenähnlicher Feldbau bezeichnet.

Die zweite Hypothese geht davon aus, dass der Getreideanbau auf Flächen erfolgt sei, die nur für die Dauer von ein bis drei Jahren bewirtschaftet worden seien. Zu diesem Zweck wäre eine entsprechende Fläche Waldes unter Einsatz von Feuer geöffnet worden, wobei der Brand auf spezielle Weise durchgeführt worden sei: nämlich so, dass durch eine hohe Bodentemperatur und die anfallende Asche eine für wenige Jahre extrem hohe Stickstoffverfügbarkeit im Boden erzielt worden wäre. Da jedoch dieser Effekt rasch nachlässt und außerdem ein sehr starkes Wachstum krautiger Pflanzen nach sich zieht, seien die entsprechenden Flächen rasch wieder aufgegeben und der Getreidebau auf einer abermals mit Feuereinsatz geöffneten Fläche weitergeführt worden. Sowohl die anfallende Mikroholzkohle als auch die Pollen der sich einstellenden, spezifischen Vegetation wären gemeinsam mit natürlichen Seesedimenten Jahr für Jahr abgelagert worden und könnten demnach heute mit den Methoden der Pollenanalyse studiert werden. Ähnliche Systeme sind noch heute in vielen Teilen der Welt als „Shifting Cultivation“ bekannt; im Kontext dieses Buchs wird das Verfahren als Brandfeldbau bezeichnet.

In dieser Arbeit wird daher untersucht, ob die beiden genannten Hypothesen sich als Modell des neolithischen Getreideanbaus eignen, welche Vor- und Nachteile die Verfahren bieten, welche Auswirkungen sie auf das Mensch-Umwelt-System haben, und wie sich die Getreideerträge pro Fläche und Jahr sowie im langfristigen Trend rekonstruieren lassen. Interessant ist insbesondere die Frage, ob sich die Dynamik des Brandfeldbaus mit der archäologisch und dendrochronologisch dokumentierten Besiedlungsdynamik in Deckung bringen lässt.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit liegt in einem vertieften Verständnis der menschlichen Landnutzung insgesamt. So sind beispielsweise die Säulen der Nahrungsversorgung bekannt, jedoch liegen über ihre jeweilige Bedeutung nur wenige Untersuchungen vor. Was jedoch bedeutet es, wenn anstelle von beispielweise 80% Getreideprodukten im Vorjahr wetterbedingt nun nur noch 20% des Bedarfs über Getreide gedeckt werden können? Welche Bedeutung hatten die übrigen Nahrungsbestandteile, und welche Flächen waren für ihre Gewinnung erforderlich? Wie lässt sich der Ressourcenbedarf sowie das Ressourcenverfügbarkeit der Siedlungsumwelt quantifizieren? Lässt sich möglicherweise ein Zusammenhang zwischen den Verfahren der Landnutzung und der nachgewiesenen hohen Siedlungsdynamik herstellen?

Nicht alle Landnutzungsprozesse finden in dieser Arbeit Berücksichtigung. Beispiele sind die Gewinnung lithischer Rohstoffe für die Geräteherstellung oder die Keramikproduktion; diese sind von geringerer flächenhafter Ausdehnung und / oder von geringerer Auswirkung auf die Landschaftsentwicklung, weshalb sie für den betrachteten Kontext als nicht relevant betrachtet werden.

Die genannten Fragen haben die Gemeinsamkeit, dass sie den Menschen im Kontext seiner Umwelt denken und begreifen müssen. Mensch und Umwelt bilden ein hoch dynamisches System mit einer Vielzahl von sich wechselseitig beeinflussenden Elementen und Prozessen, welches auch als sozio-ökologisches System bezeichnet wird (Abb. 1). Diese komplexen Interaktionen der Bewohner der Feuchtboden- und Pfahlbausiedlungen und ihrer Umwelt stellen daher den eigentlichen Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit dar. Zu ihrer Untersuchung wird ein computergestütztes Simulationsmodell dieses Systems entwickelt. Dafür wird eine Software zur Simulation von Getreideerträgen verwendet, deren Ergebnisse anschließend in eine Computersimulation jungneolithischer Landnutzung überführt und dort gemeinsam mit geographischen und arbeitsökonomischen Daten ausgewertet werden. Das Ziel ist dabei, durch den Prozess der Modellbildung selbst sowie durch die Verwendung des Modells zum Test von Hypothesen zu weiterführenden Aussagen zu gelangen.

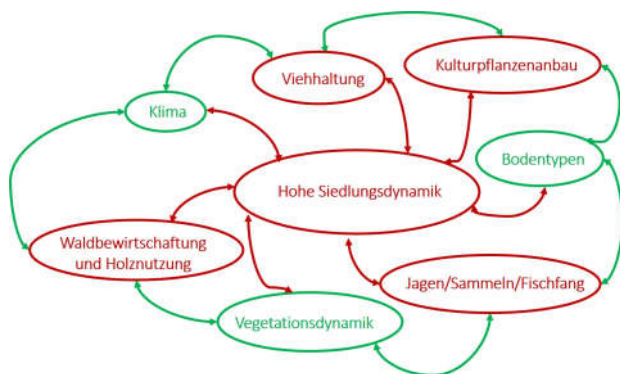


Abb. 1: Schema des sozio-ökologischen Systems der neolithischen Pfahlbauten im nordwestlichen Alpenvorland

Das Vorgehen ist als explorativ zu bezeichnen; die Vorgehensweise liefert keine absoluten und definitiven Ergebnisse, sondern dient der Überprüfung bestimmter Zusammenhänge und Auswirkungen.

## 1.2 Aufbau der Arbeit

### TEIL 1: GRUNDLAGEN

- Kapitel zwei gibt einen kurzen allgemeinen Überblick in die agentenbasierte Simulation in der archäologischen Forschung. Der Ansatz der vorliegenden Arbeit wird vorgestellt, die Details zur angewendeten Methode in den jeweiligen Kapiteln finden sich jedoch dort.
- In Kapitel drei wird das Untersuchungsgebiet und der Untersuchungszeitraum definiert, und es werden die naturräumlichen Grundlagen vorgestellt.
- In Kapitel vier werden bestehende Modelle der Landnutzung in den Feuchtbodensiedlungen im Untersuchungszeitraum und -Gebiet vorgestellt.

### TEIL 2: NEUE MODELLE DER LANDNUTZUNG

- In Kapitel fünf wird die Datengrundlage zum Getreideanbau für die Modellbildung erstellt. Dafür wird ein publiziertes Agro-Ökosystemmodell (MONICA, MOdel for Nitrogen and CARbon, Nendel et al. 2011) verwendet. Der Einfluss verschiedener Faktoren auf die Ertragsbildung von Getreide wird aus den Ergebnissen abgeleitet und diskutiert. Die mittlere Höhe prähistorischer Getreideerträge unter bestimmten Düngeverfahren, die Abnahme der Erträge mit fortgesetzter Dauer des Anbaus sowie die witterungsbedingte Schwankung der Jahreserträge sind wichtige Ergebnisse.
- In Kapitel sechs wird das agentenbasierte Simulationsmodell WELASSIMO\_feldbau (WETLand Settlement SIMulatOr) vorgestellt. Es wird verwendet, um Aussagen zum Flächenbedarf der simulierten Anbauverfahren sowie weitere arbeitsökonomische Kenngrößen abzuleiten. Der Flächenbedarf und die Produktivität der Verfahren sowie der potenzielle Beitrag des Getreidebaus an der Deckung des gesamten Kalorienbedarfs unter verschiedenen Szenarien stellen wichtige Ergebnisse des Kapitels dar. Darüber hinaus werden zwei Fallstudien vorgestellt, in denen das Modell WELASSIMO\_feldbau auf die Siedlungen Hornstaad-Hörnle 1A und Sipplingen-Osthafen Schicht 9 angewendet wird.
- In Kapitel sieben wird das agentenbasierte Simulationsmodell WELASSIMO\_fläche vorgestellt, welches in wesentlichen Teilen auf WELASSIMO\_feldbau aufbaut. Es wird jedoch um die Prozesse der Viehhaltung, der Jagd, des Fischfangs, des Sammelns von Wildpflanzen sowie der Bau- und Brennholzgewinnung erweitert. Dafür werden Daten zum jeweiligen Ressourcenbedarf eines Hauses und zum Ressourcenangebot verschiedener Landschaften zusammengestellt. Es werden 6 Landschafts- und 5 ökonomische Szenarien definiert, die als Vorlage für die Simulation des Flächenbedarfs sowie der Nahrungszusammensetzung dienen. Auf Grundlage der hier gewonnenen Ergebnisse wird ein Modell des Flächenbedarfs eines Modellhauses der Feuchtbodensiedlungen für wichtige Landnutzungsaktivitäten vorgestellt.
- In Kapitel acht wird ein leicht abgewandeltes Modell mit dem Namen ZÜRISSIMO (ZÜRICH Settlement SIMulatOr) in einer Fallstudie auf das Untersuchungsgebiet Zürichsee-Greifensee-Pfäffikersee angewandt, um den Flächenbedarf während dreier verschiedener Zeiträume zu simulieren. Abschließend erfolgt eine Anpassung des vorläufigen Modells unter Verwendung von Ergebnissen aus der Fallstudie und Literaturdaten.
- In Kapitel neun wird eine Synthese erstellt. Darin wird unter Verwendung der Ergebnisse dieser Arbeit ein neues Modell des sozio-ökologischen Systems der Feuchtbodensiedlungen im nordwestlichen Alpenvorland skizziert.

## 2 Methode

### 2.1 Modelle und agentenbasierte Simulation in der Archäologie

Wie Lake (2014) beschreibt, ist „modellieren“ eine Tätigkeit, die fest und nahezu unbemerkt zur wissenschaftlichen Routine der meisten Archäologen gehört; es ist „ein Mechanismus, der Beobachtungen mit theoretischen Ideen in Beziehung setzt“ (Clarke 1972 S. 2, eigene Übersetzung). Jede Erklärung darüber, wie oder warum etwas in der Vergangenheit passiert ist, stellt im eigentlichen Sinne ein Modell dar (Kohler und van der Leeuw 2007 S. 3). Eine hilfreiche Definition des Begriffs „Modell“ ist die einer „zielgerichteten Repräsentation eines real existierenden Systems“. Die Herausforderung bei archäologischen Modellen besteht unter anderem darin, dass die „reale Existenz“ der Systeme der Vergangenheit angehört. Daher muss man wohl eher von einer „zielgerichteten Repräsentation der Hypothese eines früher real existierenden Systems“ sprechen. Eine Möglichkeit der Modellentwicklung zur Beantwortung der genannten Fragen ist die Simulation des zu untersuchenden Systems.

Generell wird mit dem Begriff Simulation eine Methode zur Analyse von Systemen beschrieben, welche aufgrund ihres dynamischen Systemverhaltens für theoretische oder formelmäßige Beschreibungen zu komplex sind. Computerbasierte Simulationsmodelle sind im Vergleich mit lebensechten Experimenten (die ebenfalls als Simulation beschrieben werden können) um ein Vielfaches kostengünstiger, und können unter identischen Bedingungen nahezu beliebig oft wiederholt werden; die Anzahl an Wiederholungen wird nur durch die Rechnerkapazität limitiert. Wie Barton et al. (2012) schreiben, können „Computermodelle als Laborexperimente aufgefasst werden, in denen alternative Szenarien über das Funktionieren komplexer sozio-ökologischer Systeme untersucht und bewertet werden können“ (eigene Übersetzung). Ein Ziel archäologischer Simulationsmodelle ist es daher, aus mehreren möglichen Realitäten diejenigen zu benennen, die unter Berücksichtigung des archäologischen Datenbestandes die höchste Plausibilität haben; dies wird als „Hypothesis testing“ bezeichnet.

Das Verfahren ist jedoch auch mit erkenntnistheoretischen Einschränkungen behaftet: So können Computermodelle immer lediglich einen kleinen Ausschnitt aus der theoretisch unendlich großen Anzahl möglicher (prä-) historischer Realitäten rekonstruieren (Barton et al. 2012). Auch muss beachtet werden, dass allein durch erfolgreiche Simulation eines Prozesses dessen Bedeutung für die Erklärung eines archäologisch belegten Musters nicht automatisch gegeben ist. Dieses Problem wird als Aquifinalität (Zielgleichheit) bezeichnet. Auch die Ableitung von Informationen aus dem beobachteten Modell zum Zweck der Theorieentwicklung kann ein Element von Simulationsmodellen sein. Das Ziel dieses als „heuristisches Modellieren“ bezeichneten Verfahrens besteht in einem vertieften Verständnis darüber, wie bestimmte Prozesse ablaufen und welche Einflussfaktoren auf sie einwirken (Lake 2014). Die Ziele der vorliegenden Untersuchung lassen sich als Kombination der beiden genannten Verfahren beschreiben, weil diese sowohl heuristische Elemente hat, indem sie danach strebt, den Ablauf von Landnutzungsprozessen besser zu verstehen, als auch dem Test von Hypothesen dient, indem sie diese simuliert und dadurch eine Grundlage zur Bewertung ihrer Plausibilität anstrebt.

Die agentenbasierte Modellierung ist eine Methode der Computersimulation, die besonders gut geeignet ist um zu verstehen, wie sich die Eigenschaften eines zu untersuchenden Systems aus dem Systemverhalten der einzelnen Elemente ergeben (Lake 2015 S.4). Das Verfahren kann damit als Bottom-up-Methode bezeichnet werden, in der übergeordnete Zusammenhänge aus der Untersuchung geringerskaliger Elemente erschlossen werden. Dies wird mit dem Begriff der Emergenz bezeichnet und ist eine der zentralen Charakteristika des Verfahrens. Die zu untersuchenden Systemelemente werden als „Agenten“ bezeichnet. Ihnen ist in der Simulation eine Wirksamkeit gegeben, und sie können als Individuen betrachtet werden, deren Verhalten, Umweltnutzung und Interaktion

mit anderen Agenten durch definierte Regeln bestimmt werden (Epstein und Axtell 1996 S. 5). Typischerweise handeln Agenten autonom und zielgerichtet, reagieren auf Systemveränderungen und sind zumeist in einer definierten Umgebung lokalisiert (z.B. Ferber 1999, S. 9-10). Ihnen kann eine Form der Wahrnehmung gegeben werden, sie können soziale Verhaltensweise annehmen, z.B. indem sie mit bestimmten anderen Agenten interagieren oder eben nicht, und können sich unter Weitergabe oder Veränderung von Eigenschaften reproduzieren (Lake 2015 S. 4).

Diese Eigenschaften müssen für den Zweck der Programmierung in einem Computermodell als präzise mathematische Algorithmen formuliert werden, was einen der Vorzüge des Verfahrens darstellt. Aus dem Zusammenspiel der genannten Eigenschaften erschließt sich eine weitere Stärke agentenbasierter Simulationsmodelle: sie sind in der Lage, dynamische Prozesse abzubilden. Da diese auf ganz unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen ablaufen können, und insbesondere auch soziale Interaktionen umfassen, ist es unmöglich, das daraus resultierende Verhalten solcher in der Forschung als „complex adaptive systems“ (Miller und Page 2009) bezeichneten Systeme mit „klassischen“ Modellen darzustellen oder zu untersuchen, oder mit den Methoden des menschlichen Geistes zu überschauen – zu vielfältig sind die Parameter, Faktoren und Interaktionsmöglichkeiten.

Ein weiterer Vorzug der Methode ist, dass sie eine Vertiefung des Verständnisses von Systemen ermöglicht. So sehr auch die Archäologie häufig mit Objekten beschäftigt ist, und so sehr dies auch gerechtfertigt ist: Alle Objekte sind letztlich ohne Aussage, sofern nichts über den Kontext bekannt ist, in welchen sie räumlich, zeitlich oder thematisch zu verorten sind. Dieser Kontext kann auch als System bezeichnet werden, und damit eröffnen Simulationsmodelle für sehr viele Fragen in der Archäologie die Möglichkeit einer erweiterten, integrativen Erforschung verschiedener Zusammenhänge. Die Forschungsgegenstände sind dabei so verschieden wie die Bedeutung von Objekten (z.B. Crabtree 2016), der detaillierte Ablauf konkreter, archäologisch dokumentierter Prozesse wie etwa der prähistorische Salzabbau in den Minen von Hallstatt (Kowarik et al. 2015), oder die Emergenz sozialer Phänomene, z.B. die Ethnizität bestimmter Gruppen (Barcelo et al. 2015) oder die Verteilung von Reichtum im sog. „Sugarscape-Modell“ (Epstein und Axtell 1996).

Die Methode ist zwar nach Lake (2015 S.5) nicht so jung wie die zitierten Werke vermuten lassen (z.B. Doran et al. 1994; Mithen 1990; Thomas 1972), jedoch ist auf Grundlage der publizierten Untersuchungen eine regelrechte Explosion des Interesses an der Methode seit den 2000er Jahren festzustellen (Lake 2014). Letzterer attestiert dem Verfahren, den Status einer gewissen methodologischen Reife erreicht zu haben, verortet es als „zum archäologischen Werkzeugkoffer zugehörig“ und spricht ihm eine „output utility“ zu: Die mit der Methode erzielten Ergebnisse können demnach wertvolle Ergebnisse auch für Forscher bereitstellen, die nicht in den Prozess der Modellentwicklung integriert waren (Lake 2015 S. 6).

## **2.2 Agentenbasierte Simulation und geografische Informationssysteme (GIS): Modelle des sozio-ökologischen Systems archäologisch dokumentierter Siedlungen**

Während in den meisten agentenbasierten Modellen der Raum eine gewisse Bedeutung hat, die Agenten aber nicht notwendigerweise in einer definierten Landschaft zu verorten sind, können durch die Verwendung einer Schnittstelle mit geografischen Informationssystemen (GIS) räumlich explizite Interaktionen zwischen einem oder mehreren Agenten und seiner spezifischen Umwelt simuliert werden (Lake 2015 S. 5). Diese Eigenschaft macht die Methode für die Archäologie auf eine Weise anwendbar, die über das Erstellen von (nicht weniger wertvollen) theoretischen, allgemeingültigen Theorien hinausgeht, indem sie die Simulation von verschiedenen Szenarien für konkrete Bedingungen mit genau definierten räumlichen Bezügen erlaubt (Crooks und Castle 2012). Umwelteinflüsse

wie die Degradation von Ressourcen oder der Einfluss von Witterungsschwankungen auf Getreideernten und demographische Entwicklung können ebenfalls integriert werden (z.B. Kohler et al. 2012). Die Simulation der Dynamik natürlicher Ressourcen der Ökosysteme in der Umwelt einer bestimmten Menschengruppe, wie beispielsweise von Rothirschen als Nahrungsquelle, ist in jüngerer Zeit vermehrt in agentenbasierte Modelle integriert worden (Johnson und Kohler 2012). Dadurch wird die Untersuchung von gekoppelten sozio-ökologischen Systemen möglich (Barton et al. 2010): Systemen, die durch eine enge Interaktion und gegenseitige Beeinflussung menschlicher und natürlicher Prozesse gekennzeichnet sind.

Eines der einflussreichsten agentenbasierten Simulationsmodelle mit archäologischer Fragestellung ist als „Artificial Anasazi“ bekannt (Axtell et al. 2002; Dean et al. 2000; Janssen 2009). Das Modell wurde unter Verwendung eines umfangreichen paläoökologischen und siedlungsarchäologischen Datensatzes des „Long House Valley“ in Arizona mit dem Ziel entwickelt, eine simulierte demographische Entwicklung mit der archäologisch belegten zu vergleichen. Als Agenten wurden Haushalte programmiert, die sich in Gebieten höherer Eignung zu Clustern formieren konnten. Die Regeln, nach denen die Agenten mit ihrer Umwelt interagierten, begründeten sich aus ethnographischen Analogien und gemäß einer postulierten anthropologischen Plausibilität. Das Modell konnte erfolgreich und passgenau die archäologisch belegte Besiedlung des Long House Valleys simulieren, wobei der Grund für diese hohe Passgenauigkeit noch nicht abschließend geklärt ist – letztlich könnte er auch in der beständigen Anpassung des Modells an die archäologisch belegte Kurve der demografischen Entwicklung liegen (Swedlund et al. 2015, S. 42).

Danielisova et al. (2015) haben ein Modell entwickelt, um die Subsistenzwirtschaft und die ökonomischen Bedingungen späteisenzeitlicher Oppida mit einer ausgeprägten sozialen Stratifizierung in Zentraleuropa zu erforschen. Sie untersuchen im Besonderen, welche Anbauverfahren als besonders erfolgreich betrachtet werden können, um das postulierte Ziel der Selbstversorgung zu erreichen; welche Dynamik durch den Zusammenhang einer kontinuierlich wachsenden Bevölkerung mit abnehmenden Erträgen einhergeht; und was die maximale Bevölkerungsdichte war, welche in einem bestimmten Gebiet erreicht werden konnte. Sie testen verschiedene Interaktionsmodelle zwischen den Siedlungen und ihrem Umland und definieren dafür bestimmte Level der Ressourcenverfügbarkeit der Landschaft sowie unterschiedliche Potentiale der Bevölkerung zur Nutzung dieser Ressourcen. Dafür verwenden sie die Softwareplattform NETLOGO (Wilensky 2015, 1999), die auch in der vorliegenden Arbeit verwendet wird.

### **2.3 Vorgehen in dieser Arbeit**

Einen Überblick über die Vorgehensweise in dieser Arbeit ist in Abb. 2 dargestellt. Das publizierte Agro-Ökosystemmodell MONICA (Nendel et al. 2011) dient dem Zweck der Rekonstruktion von neolithischen Getreideerträgen pro Fläche und Jahr sowie im langfristigen Trend. Die Analysen wurden von mir vorbereitet und dankenswerterweise von Dr. Claas Nendel, dem Verfasser des Modells, durchgeführt. Die erzielten Ergebnisse wurden mit weiteren Daten in dem agentenbasierten Simulationsmodell WELASSIMO\_feldbau verarbeitet. Dessen Ziel sind Aussagen zur Plausibilität der Anbauverfahren sowie Berechnungen der Arbeitsbelastungen für den Getreideanbau und der dafür benötigten Fläche. Ein zweites agentenbasiertes Simulationsmodell, WELASSIMO\_fläche, verwendet wiederum Ergebnisse aus den vorigen Modellen und wurde erstellt, um Fragen zur neolithischen Landnutzung unter Einbeziehung von Getreideanbau, Viehhaltung, Jagd, Sammeln, Fischfang, sowie Brenn- und Bauholzgewinnung zu untersuchen. Die jeweilige Methode ist Eingangs der drei Kapitel 5,6 und 7 erläutert.

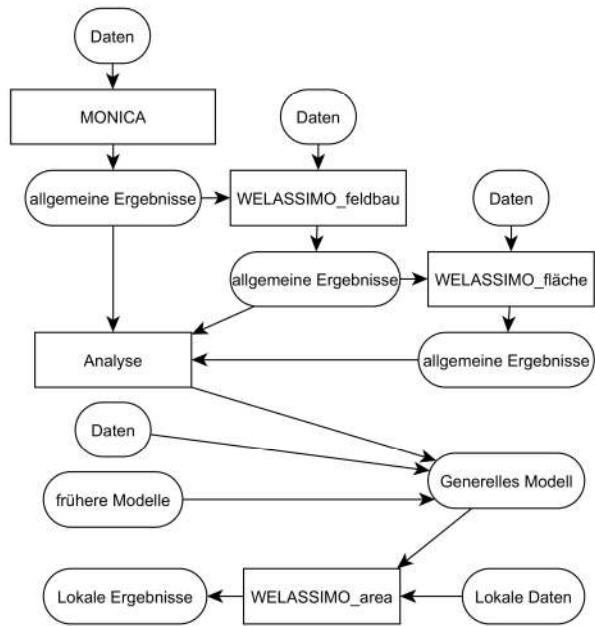


Abb. 2: Schema der verwendeten Modelle und der Vorgehensweise in dieser Arbeit



### 3 Die Umwelt der neolithischen Moor- und Seeufersiedlungen im Untersuchungsgebiet

#### 3.1 Das Untersuchungsgebiet

Die Ausdehnung des Untersuchungsgebietes dieser Arbeit wird in Abb. 3 dargestellt. Auf der Abbildung sind die vier vertieft besprochenen Gebiete mit schwarzem Rahmen dargestellt. Die für die Erstellung der Simulationen WELASSIMO\_feldbau und WELASSIMO\_fläche zugrunde gelegte Landschaft liegt im Nordosten des Untersuchungsgebietes. Die kleinere innere Fläche wurde später um die größere, sie umrahmende erweitert, um auch den Flächenbedarf größerer Siedlungen simulieren zu können. Am westlichen Ende des Bodensees liegen die zwei Gebiete der Fallstudien Sipplingen (nördlich) und Hornstaad-Hörnle 1A (südlich).

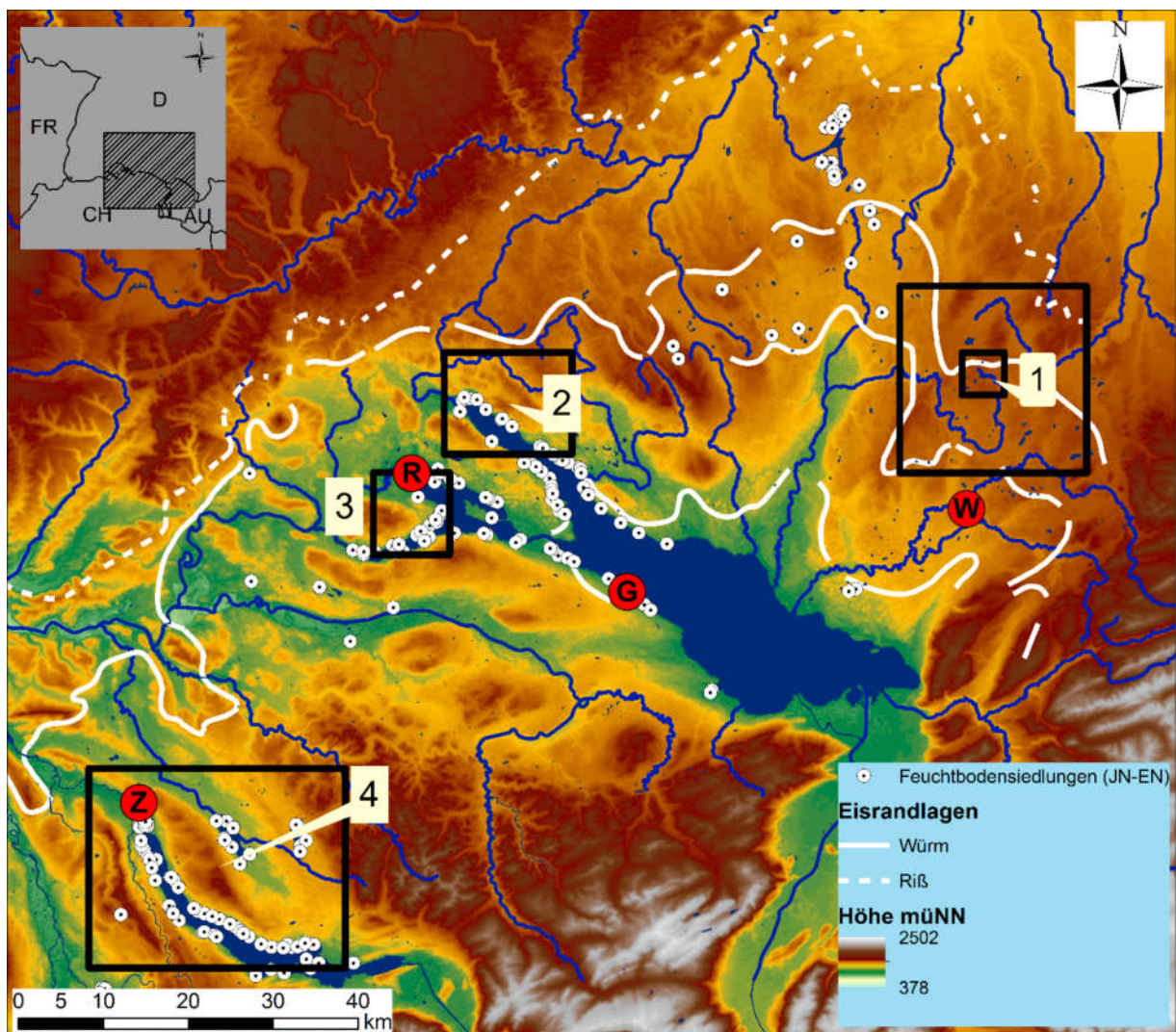


Abb. 3: Topografie des Untersuchungsgebietes, Verbreitung jung- bis endneolithischer Feuchtbodensiedlungen und maximale Eisrandlagen der Würm- und Rißzeit (verschiedene Stadien). 1=Modelllandschaft für die Simulation mit WELASSIMO\_feldbau; 2=Fallstudie Silingen; 3=Fallstudie Hornstaad-Hörnle 1A; 4=Fallstudie Zürichseegebiet. Rot: Lage der Klimadiagramme in Abb. 7 und Abb. 8. W=Wangen; G=Güttingen; R=Radolfzell; Z=Zürich

Im Südwesten des Untersuchungsgebiets ist die Fallstudie Zürichseegebiet lokalisiert, welche sich auf die Region der drei Seen Zürichsee, Greifensee und Pfäffikersee bezieht.

### 3.2 Geologie und Bodenverhältnisse

Eine generelle geografische Charakterisierung des nördlichen Alpenvorlands ist bei Gradmann (1931) zu finden. Er beschreibt das Gebiet als geologische Senke, welche während des Tertiärs vom Schutt der aufsteigenden Alpen aufgefüllt wurde. Diese als Molasse bezeichneten Sedimente wurden zum Teil in Salzwasser und zum Teil in Süßwasser abgelagert und erreichen eine Gesamtmächtigkeit von bis zu 3000 m. Während des Pleistozäns wurde diese Landschaft wiederholt von den großen Alpengletschern bedeckt, die sowohl ihre Sedimentfracht abgelagerten als auch mehrere tiefe Troge aushobelten, in denen heute die großen Voralpenseen liegen (z.B. Boden- und Zürichsee). Die Topografie wurde maßgeblich durch Gletscher und Schmelzwasserflüsse geprägt und zeigt nach Ellwanger et al. (2011) die Formen eines „Amphitheaters“ im zentralen Bodenseebecken, von ausgedehnten Schmelzwasserterrassen auf den Iller-Riß-Platten, sowie von mehreren tief eingeschnittenen Tälern im westlichen Bodenseebecken.

Der Zürichsee weicht insofern von dieser Beschreibung ab, als er von zwei höheren Bergrücken eng flankiert wird. Die Uferbereiche haben jeweils nur ein wenig ausgedehntes flaches Hinterland. Die Jungmoränenlandschaft, die durch die jüngste (Würm-) Vereisung geschaffen wurde, prägt dabei in besonderer Weise die Umwelt der Feuchtbodensiedlungen. Die charakteristische Drumlinlandschaft z.B. im nordöstlichen Bodenseegebiet mit vielen kleinen Toteisseen wie dem Degersee, sowie etwas größeren Zungenbeckenseen wie dem Illmensee und zahlreichen Niedermooren (Mainberger und Mainberger 2010) ist hierfür ein Beispiel, ebenso wie der von Endmoränen umgebene Federsee mit seinen umliegenden Niedermooren in Oberschwaben oder das Seebachtal im Kanton Thurgau. Die oberste geologische Schicht wird in großen Bereichen von würmzeitlichen glazialen Sedimenten wie Schotterfluren oder Geschiebemergeln bedeckt, es treten aber auch teilweise flächendeckend die tertiären Molassesedimente zutage (so z.B. im Gebiet zwischen Zürich- und Greifensee oder am westlichen und südlichen Ufer des Untersees vom Bodensee). Jüngere, nacheiszeitliche Bildungen wie Niedermoore und Auensedimente sind im großen Maßstab relativ unbedeutend, auf der Betrachtungsebene der konkreten Umwelt der in dieser Arbeit betrachteten Siedlungen besitzen sie dagegen zum Teil eine höhere Bedeutung.

Jenseits der maximalen würmzeitlichen Eisrandlage liegen häufig ältere Sedimente der Riß-Vereisung oder Schmelzwasserschotter (Ellwanger et al. 2011; Leibundgut 2001; Geyer und Gwinner 2011). Weitere geologische Formationen wie die Hegau-Vulkane, die jurassischen Gesteine der Alb und die triassischen Gesteine des südöstlichen Schwarzwaldabhangs treten im Nordwesten des Untersuchungsgebietes auf (Abb. 1), sind jedoch für die Feuchtbodensiedlungen ohne Bedeutung. Von besonderer Relevanz sind die geologischen Verhältnisse in der Umgebung der Feuchtbodensiedlungen vor allem wegen ihres Einflusses auf die Bodentypen. Deren Eigenschaften waren für die nachweislich Getreide anbauenden Menschen (siehe Kap. 4.1) von hoher Bedeutung.

Das Ausgangsgestein ist einer der wichtigsten Faktoren der Bodenbildung, neben dem Klima, dem Relief und den Organismen (Walthert et al. 2004). Nach Stahr und Peyer (1997) dominieren in den Jungmoränengebieten des Schweizer Mittellandes häufig Sedimente der Grund- und Endmoräne, die teilweise mit locker aufgearbeitetem Molassemergel vermischt sind. Im Hügel- und Flachhügelland des deutschen Bodenseegebietes treten dazu noch vereinzelt kalkige Auenlehme (Kalkpaternien) und Molassesedimente sowie tonige Beckensedimente, während auf Molasserücken eine dünne Decke aus Geschiebemergel zumeist das bodenbildende Substrat darstellt. Als häufige Bodentypen finden

sich Gleye und Pseudogleye, die flächenmässig bei weitem dominierenden Bodentypen sind jedoch verschiedene Ausprägungen der Parabraun- untergeordnet auch der Braunerde, teils gleyig, teils leicht versauert. Insgesamt sind die edaphischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet lokal sehr unterschiedlich. Siedlungen finden sich nicht nur in Lokalitäten mit unmittelbar anschließenden feldbaugereigneten Böden (insbesondere Parabraunerden als regional produktivstem Standort), sondern wurden auch an Plätzen ohne eine solche direkt angrenzende hohe Feldbaueignung errichtet. So sind beispielsweise am Greifen- und Pfäffikersee in der Schweiz mehrere Siedlungen an Orten lokalisiert, wo die nächsten geeigneten Böden erst in einigen hundert Metern Entfernung liegen (siehe Abb. 51 a und b).

Der Frage, inwiefern sich die heutige generelle Bodentypenverbreitung von derjenigen während des Untersuchungszeitraumes unterschied, kann sich mit Verweis auf die Arbeiten von Vogt (z.B. Vogt 2014; Vogt 2001) nachgegangen werden. Er hat Kolluvien (anthropogene Bodenbildungen) untersucht und konnte deren Entstehung frühestens ab etwa 4000 v. Chr. durch beginnende Eingriffe in die Vegetationsdecke und den Feldbau nachweisen. Die übrigen Bodentypen im Gebiet unterlagen zu diesem Zeitpunkt aber bereits seit mehreren Jahrtausenden stabilen Bedingungen, die den heutigen weitgehend ähnlich waren, so dass generalisierend von einer ähnlichen Bodentypenverbreitung ausgegangen werden kann.

Einen Hinweis darauf konnte Vogt durch eine Parabraunerde vorlegen, die durch ein altes Kolluvium begraben war und somit zu dessen Ablagerung bereist existiert haben musste. Daher gehe ich in dieser Arbeit davon aus, dass die Anwendung der Bodentypenverbreitung (z.B. LGRB 2013) bzw. der maßgeblich darauf beruhenden Landnutzungsseignung (z.B. Pazeller 2000) keine starken Verzerrungen gegenüber den Verhältnissen im Untersuchungszeitraum bedeutet. Lediglich für die Kolluvien muss aufgrund ihrer Entstehung im Kontext der sich intensivierenden Landnutzung angenommen werden, dass ihre heutige Verbreitung von der während des Untersuchungszeitraumes stark abwich. Dies wurde bei der Erstellung einer Modelllandschaft als Grundlage für die Simulationen berücksichtigt, wie unter Kap. 7.3.2.2 näher erläutert wird.

### **3.3 Klima**

Der Einfluss von Klima, Witterung und Wetter auf unterschiedliche Aspekte menschlicher Kulturen ist in der archäologischen und historischen Forschung unbestritten und Gegenstand zahlreicher Publikationen mit unterschiedlichen Schwerpunkten (z.B. Behringer et al. 2005; DeMenocal 2001; Pfister 2001; Zhang et al. 2007). Der Unterschied zwischen den drei Kategorien besteht dabei in der Dauer des betrachteten Zeitraums: „Wetter“ beschreibt einen momentanen Zustand der Wetterelemente wie Niederschlag, Temperatur, Wind oder Sonneneinstrahlung. Mit dem Begriff „Witterung“ werden typische Wetterverläufe auf der zeitlichen Ebene von Wochen bis Monaten beschrieben, während „Klima“ den typischen, mittleren Ablauf von Witterungsabläufen auf Jahresebene angibt.

Auch in der Feuchtbodenarchäologie spielt die Erforschung der Beeinflussung der menschlichen Gruppen durch die genannten Phänomene in den vergangenen Jahrzehnten eine große Rolle (z.B. Bleicher 2013; Magny 2013; Maise 1998). Dabei stehen bis heute zwei Themenkomplexe besonders im Fokus: die Frage nach dem Einfluss klimatischer Schwankungen auf die Nahrungsversorgung (z.B. Arbogast et al. 2006; Schibler 2006; Jacomet und Schibler 2010a) sowie die Frage nach dem Zusammenhang von Klimaveränderungen, dokumentierten Seespiegelschwankungen und – tatsächlichen oder scheinbaren – „Siedlungslücken“ im archäologischen Befund (Magny 2004; Nicolussi et al. 2013). Diese Fragen erfordern eine möglichst hoch auflösende und unabhängige Datenbasis, um die

tatsächlichen klimatischen Bedingungen rekonstruieren zu können. Welche klimatischen Bedingungen können nun für den Untersuchungszeitraum rekonstruiert werden?

Die holozäne Klimaentwicklung hat im Fahrwasser der Erforschung des anthropogen bedingten Klimawandels große Aufmerksamkeit erfahren. Dabei ist das Zusammenspiel der verschiedenen klimabestimmenden Faktoren ein zentrales Element der Untersuchungen, so dass deren Wirkmechanismen weitgehend verstanden sind (Beer und van Geel 2008). Auf Grundlage verschiedener Proxydaten aus Klimaarchiven wie Pollenstratigraphien, Eisbohrkernen und limnischen oder marinen Sedimentkernen werden Klimarekonstruktionen auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalenniveaus erstellt (Vinther et al. 2006; Birks und John 2008; Bond et al. 2001).

Simulationsmodelle von unterschiedlicher Komplexität vermögen sowohl langfristige klimatische Trends als auch Klimaschwankungen im Dekaden- und Zentennienbereich darzustellen (Wanner et al. 2008). Auf globaler Ebene finden Marcott et al. (2013) Belege für eine nacheiszeitliche Erwärmung von 13200 cal. BP bis 8500 cal. BP, welche dann in einem Temperaturplateau kulminiert. Dieses holozäne Temperaturmaximum (HTM) dauert nach Marcott et al. global etwa bis 6300 cal. BP (4300 v. Chr.) an, während Kalis et al. (2003) es für Mitteleuropa in den Zeitraum bis 3500 v. Chr. verorten. Danach ist ein kontinuierlicher (wenn auch von starken Schwankungen begleiteter) Abwärtstrend in den Temperaturen zu beobachten. Dieser mündet um 100 cal. BP (1850 n. Chr.) in einem jetzt rasanten Temperaturanstieg, der sehr wahrscheinlich durch den anthropogen bedingten Anstieg der Treibhausgase bedingt ist (IPCC 2007). Dadurch nähern sich die heutigen Temperaturen an die Maximumtemperaturen der gesamten nacheiszeitlichen Entwicklung an.

Für Mitteleuropa haben Mauri et al. (2015) eine auf Pollendaten basierende detaillierte Rekonstruktion von Sommer- und Wintertemperaturen sowie der Niederschlagsverteilung während der letzten 12.000 Jahre mit einer zeitlichen Auflösung von 1000 Jahren vorgelegt. Gemäß ihren Rekonstruktionen lag die mittlere Temperatur während des Untersuchungszeitraumes besonders während der Wintermonate um 2-3° Celsius höher als der Mittelwert vor der Zeit der vorindustriellen Erwärmung, während sie für die Sommermonate eine weniger hohe Temperaturdifferenz rekonstruieren. Dies steht im Gegensatz zu anderen Forschungen, die die größte Differenz der Temperaturen in Mitteleuropa während der Sommermonate erkennen, wobei aber der Betrag der Differenz ähnlich hoch ist (z.B. Renssen et al. 2009). Gemäß Davis (2003) schwanken die mittleren Temperaturen in Mitteleuropa nach 6000 v. Chr. langfristig nur noch um sehr geringe Beträge von max. 1°C.

Die Niederschlagsverteilung wich dagegen nach Mauri et al. (2015) nur unwesentlich vom Referenzzeitraum (100 cal. BP) ab; die Rekonstruktion der Niederschläge bleibt jedoch eine große Herausforderung, wie aus der geringen Anzahl entsprechender Publikationen für Europa ersichtlich wird (Amann et al. 2014). Mit höherer zeitlicher Auflösung der Untersuchungen lassen sich auch deutliche Schwankungen der klimatischen Verhältnisse im Alpenraum rekonstruieren. So können Haas et al. (1998) auf Grundlage der Samenproduktion der Wasserpflanze *Najas flexilis* während des Untersuchungszeitraumes zwei von ihnen als „Kältephasen“ angesprochene Zeiträume ausmachen: von 4200-3700 v. Chr. und von 3300-2900 v. Chr. (siehe Tab. 2). Magny (2004) kann auf Grundlage seiner limnologischen Untersuchungen während des Untersuchungszeitraumes drei Phasen hoher Seespiegel rekonstruieren, die er mit ungünstigen Klimabedingungen in Zusammenhang bringt: 4150-3950 v. Chr., 3500-3100 v. Chr. und 2750-2350 v. Chr.

Auf nochmals höherer zeitlicher Auflösung bewegt sich die Studie von Nicolussi et al. (2013). Die Autoren präsentieren darin eine jahrgenau datierte Rekonstruktion der relativen Entwicklung der Juni/Juli/August-Temperaturen in den Ostalpen für den Zeitraum 4400-3400 v. Chr. Diese beruht auf der ostalpinen Nadelholz-Chronologie (Nicolussi et al. 2004; 2009) und stellt einen Referenzdatensatz von bislang unerreichtem Auflösungsvermögen dar. Danach lässt sich die relative Temperaturentwicklung wie folgt darstellen: Auf ein multidekadisches Minimum um 4340 v. Chr. folgt eine längerfristige Erwärmung, die um 4135 v. Chr. kulminiert. Daraufhin ist bis etwa 3730 v. Chr. eine sukzessive Abnahme der Temperaturen belegt, die mit einer abrupten Abkühlung endet. Diese relativ kühle Phase dauert bis 3635 v. Chr. an. Auf eine Phase leicht höherer Mittelwerte folgt wiederum eine längere, kühlere Phase von 3540 bis 3450 v. Chr. In diese längerfristigen Trends sind immer auch Schwankungen zu höheren und niedrigeren Temperaturen eingebettet.

Die maximale Abweichung der Temperaturen im Zeitraum 4000-3500 v. Chr. beträgt  $-1,7^{\circ}\text{C}$  bzw.  $+1,2^{\circ}\text{C}$ , der Differenzbetrag vom kältesten Jahr zum wärmsten Jahr damit  $2,9^{\circ}\text{C}$ . Die Autoren der Studie sehen ihre Rekonstruktion durch generelle Übereinstimmung mit anderen alpinen Klimaproxies, namentlich der Variabilität der Baumgrenzschwankung und der Gletscherentwicklung, bestätigt. Die Autoren betonen, dass in der bereits seit längerem geführten Diskussion um den Zusammenhang von Klimavariabilität und Siedlungsdynamik der Feuchtbodensiedlungen bislang im Wesentlichen auf die Sonnenaktivität als Steuerungsfaktor fokussiert wird. Dabei sei diese jedoch nur *einer* der relevanten Antriebsfaktoren, während weitere Faktoren der Paläo-Klimaentwicklung wie regionale Zirkulationsverhältnisse oder Vulkanausbrüche weitgehend unberücksichtigt blieben.

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Im langfristigen Durchschnitt lagen die Mitteltemperaturen im Untersuchungsgebiet besonders zu Beginn des Untersuchungszeitraumes vermutlich noch um maximal  $1\text{-}2^{\circ}\text{C}$  höher, wobei die jahreszeitliche Verortung dieser Differenz unklar ist. Nachfolgend sinken die langfristigen Mittelwerte kontinuierlich leicht ab, wobei die Beträge auf dieser Skala insgesamt gering sind. Es können jedoch auch kürzere und deutlichere Schwankungen der Temperaturverteilung identifiziert werden, die die Ausweisung von 2-3 Kaltphasen während des Untersuchungszeitraums ermöglichen. Die Niederschlagsverteilung war vermutlich ähnlich wie heute, diese Aussage beruht aber auf einer sehr geringen Anzahl an Untersuchungen. Um diese Aussagen für das Untersuchungsgebiet nutzbar zu machen, sind in Abb. 4 drei exemplarische Klimadiagramme der Periode 1980-2010 dargestellt.

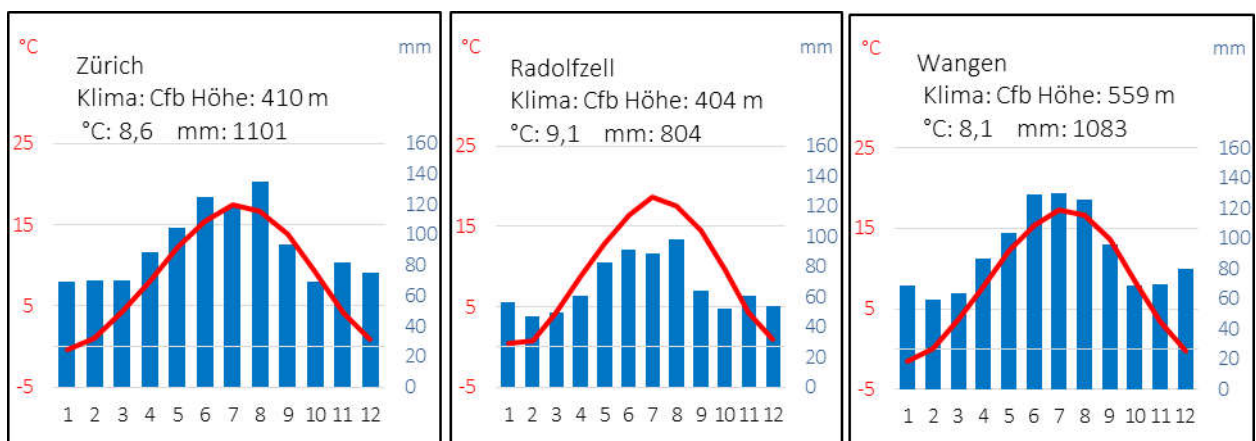
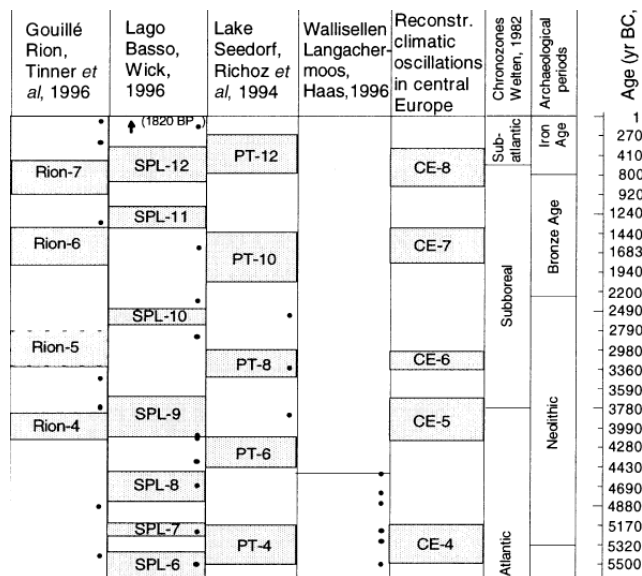


Abb. 4: Drei ausgewählte Klimadiagramme im Untersuchungsgebiet (zur Lage siehe Abb. )©dwd/me-teoswiss

Tab.1: Kältephasen in Mitteleuropa während Neolithikum, Bronzezeit und Eisenzeit (nach Haas et al. 1998). Die Phasen mit dem Kürzel CE-5 und CE-6 betreffen den Untersuchungszeitraum



### 3.4 Natürliche Pflanzengesellschaften und Waldbedeckung

Die Vegetationsgeschichte kann basierend auf Pollenanalysen auf großer Skala beschrieben werden. Für die Schweiz haben Burga und Perret (1998) ein umfangreiches Werk hierzu veröffentlicht. Für das Bodenseegebiet liegt mit den Untersuchungen der Arbeitsgruppe von Manfred Rösch und Mitarbeitern eine außergewöhnlich dichte Datenbasis vor, die in dieser Form wohl einzigartig ist (zuletzt: Rösch und Lechterbeck 2016 und darin zitierte Literatur). Generell kann für das Tiefland vor dem Auftreten menschlicher Vegetationsbeeinflussung mit einer dichten Bewaldung gerechnet werden. Offeneres Gebiete waren lediglich an lokal begrenzten Sonderstandorten zu finden, wie sehr trockenen oder feuchten Standorten, oder in den Hochlagen bei großer Steilheit oder geringmächtiger Bodendecke.

Während des Präboreals, des Boreals und des Atlantikums wanderten die durch die Eiszeiten verdrängten Gehölze wieder in das Untersuchungsgebiet ein, wobei deutliche Unterschiede in der Geschwindigkeit zwischen den einzelnen Taxa festgestellt werden können. Während des fünften Jahrtausends v. Chr. breiteten sich die wärmeliebenden Vertreter des Eichenmischwalds im Untersuchungsgebiet aus: Eiche, Linde, Ulme und Ahorn, wodurch die vorher dominierende Hasel leicht in ihrer Bedeutung zurückging, aber weiterhin vorhanden war. Im Verlauf des älteren Atlantikums breiteten sich die Tanne und etwas später auch die Buche im Untersuchungsgebiet aus. Dieses Phänomen ist überregional zu beobachten und daher wohl klimatisch gesteuert (Lechterbeck 2001 S. 38). Gegen Ende des 5. Jtsd. liegt der sog. Ulmenfall, ein Phänomen, bei dem alle Gehölztaxa, insbesondere aber Ulme und Linde stark zurückgehen und grasartige Pflanzen leicht ansteigen. Lediglich Erlen- und Eschenbestände des Seeufers werden hiervon nicht beeinträchtigt (Lechterbeck 2001, S.36).

Nach Burga und Perret (1998, S. 646) war die Buche um 4400-4200 v. Chr. von Osten her kommend bis ins Zürichseegebiet eingewandert und bildete im Verlauf des jüngeren Atlantikums (4000-3000 v. Chr.) in der kollinen Stufe z.T. Reinbestände oder Mischwälder mit Stieleiche, Linde, Ahorn und weiteren Edellaubhölzern aus, während in der montanen Stufe die Tanne wesentlich beigemischt war. Rösch und Lechterbeck (2016) datieren den Zeitpunkt der ersten Buchenausbreitung im Untersu-

chungsgebiet auf die Periode 5000-4500 v. Chr., zu deren Ende sie einen Gleichgewichtszustand erreicht sehen, in welchem der Buche die größte Bedeutung zukommt.

Lang (1990) beschreibt in seiner Monografie die aktuell im westlichen Bodenseegebiet vorkommenden Vegetationsgesellschaften. Er verwendet das Konzept der „potenziellen natürlichen Vegetation (PNV)“ nach Tüxen (1956) und beschreibt damit den Vegetationszustand, der sich theoretisch einstellen würde, wenn der Einfluss des Menschen ausgeschaltet wäre. Dieser weicht allerdings von den realen Verhältnissen im 4. Jtsd. v. Chr. ab, denn neben pollenanalytischen Untersuchungen werden insbesondere auch heutige Verbreitungsmuster der „realen Vegetation“ mit einbezogen. Dennoch wird sie hier als gute Möglichkeit betrachtet, einen Überblick über Pflanzengesellschaften im Untersuchungsgebiet zu geben – die vermutlich in ähnlicher Weise auch während des Untersuchungszeitraumes verbreitet waren. In Langs Rekonstruktion der PNV bedecken Buchenwälder den überwiegenden Teil des westlichen Bodenseegebiets.

Andere Baumarten wie Stiel-/Traubeneiche, Esche, Bergahorn, Bergulme, Süßkirsche sind beigemischt. Auf allen Standorten außerhalb nasser Talauen, Niedermoore, Seeufer und trockener Extremstandorte hat die Buche die höchste Konkurrenzkraft und ist dementsprechend die dominierende Baumart. Traubeneichen-Hainbuchenwälder stocken auf Standorten mit relativ trockenen Parabraunerden aus fluvioglazialen Schottern, hoher Sommerwärme und relativ geringen Niederschlägen. Winterlinde und Rotbuche sind Nebenbaumarten. Hainbuchen sind allerdings während des Untersuchungszeitraumes noch nicht eingewandert (Burga und Perret 1998 S. 180). Föhrenwälder wachsen auf besonders trockenen oder besonders nassen Extremstandorten. Auf den erstgenannten sind sie mit Eichen assoziiert, auf den letztgenannten mit den Moorbirken und Schwarzerlen. Ahorn-Eschenwälder wachsen auf den nordexponierten Steilhängen und Schuttkegeln.

Die dominierenden Baumarten sind, neben den namengebenden, die Bergulme, Rotbuche, Esche und Sommerlinde. Erlen-Eschenwälder dominieren auf ebenen Standorten, wenn die Buche aufgrund hohen Grundwassers ihre Konkurrenzkraft verliert. Der Bodentyp hier ist zumeist Gley. Erle und Esche sind zu etwa gleichen Teilen die Hauptbaumarten, weitere Baumarten sind eher zufällig beigemischt. Diese Wälder sind durch eine reiche Strauchschicht gekennzeichnet. Uferwälder entlang des Bodenseeuferes sowie kleinerer Seen sind heute kaum mehr erhalten und daher nur sehr unsicher zu rekonstruieren. Zudem unterscheiden sich im Ufernahbereich die Substrate recht deutlich voneinander. Lang beschreibt neben dem bereits genannten Erlen-Eschenwald den Eichen-Ulmenwald und den Silberweidenwald als vorkommende Vegetationsgesellschaften.

Der erstgenannte wird auch als „Hartholzaue“ bezeichnet und ist aus Stieleiche, Esche, Silberpappel, Ulme und weiteren zusammengesetzt. Auch hier ist eine reiche Strauchschicht typisch. Noch näher an der Wasserlinie wachsen Silberweiden-Pappelwälder, die auch als Weichholzaue beschrieben werden können und ebenfalls eine reiche Strauchschicht aufweisen. Niedermoore sind durch einen Komplex aus mehreren Waldgesellschaften gekennzeichnet. Neben dem Waldkiefern-Moorwald kommen u.a. Erlenbruchwald und Fadenseggenmoor vor. Seggenriede und Röhrichte bilden einen kleinen Streifen entlang der Seeufer.

In den Pollenprofilen weniger auffällige Taxa können z.B. durch die botanischen und dendrologischen Analysen in den Seeufersiedlungen identifiziert werden; so tritt dort eine Vielzahl weiterer Arten auf, welche auch heute im Gebiet verbreitet sind (siehe z.B. Billamboz 2006 S. 304; Sormaz 2004, S. 68), während einige Arten erst im späteren Verlauf des Holozäns einwandern sollten (z.B. Hainbuche im Subboreal, die Walnuss und die Edelkastanie im älteren Subatlantikum). Während also die Baumartenzusammensetzung im Vergleich zu heute unterschiedliche Anteile der einzelnen Taxa aufwies, waren dennoch die meisten und wichtigsten Arten heutiger Wälder bereits während des Untersuchungszeitraumes in der Region vorhanden. Wie oben vermerkt, näherten sich die klimatischen

Bedingungen von einem während des holozänen Temperaturmaximums leicht erhöhten Niveau aus zunehmend an heutige Verhältnisse (vor dem Beginn der anthropogen bedingten Klimaerwärmung) an. Damit liegt nahe, dass auch die Pflanzengesellschaften und die Ökosysteme während des Untersuchungszeitraums von den heute beobachtbaren nicht grundsätzlich verschieden waren – sieht man von den durch einen, zugegeben sehr einflussreichen Faktor – dem Mensch – verursachten Veränderungen einmal ab. Auf dieser Grundlage beschreiben Hosch und Jacomet (2004) für die Umgebung von Arbon-Bleiche 3 einen großen Flächenanteil von Wald und Waldrand.

Hier können viele Pflanzen rekonstruiert werden, die man auch heute dort erwarten darf. Über Funde typischer Pflanzen von Waldlichtungen können auch solche Landschaftselemente wahrscheinlich gemacht werden. Maier (2004) kann ebenfalls eine detaillierte Rekonstruktion der Vegetation im Umfeld der Siedlung Hornstaad-Hörnle 1A (3918-3905 v. Chr.) vorlegen. Auch durch pedologisch-moorkundliche Arbeiten (z.B. Maier und Vogt 2007) lässt sich erschließen, dass heute beobachtbare Pflanzengesellschaften wie z.B. das Fadenseggenmoor oder der Erlenbruchwald bereits während des Untersuchungszeitraumes in ähnlicher Artenzusammensetzung auftraten.

### 3.4.1 Zur Dynamik natürlicher, unbeeinflusster Waldgebiete

Die oben zitierten Pollenprofile von Rösch und Lechterbeck (2016) belegen unzweifelhaft, dass menschlicher Einfluss bereits zu Beginn des Untersuchungszeitraumes in manchen Gebieten einen hohen, evtl. auch dominierenden Einfluss auf die lokale Vegetationsdynamik ausübte. Dennoch kann vermutet werden, dass ein Teil der Landschaft zumindest phasenweise durch vom Menschen weitgehend ungestörte Waldentwicklung geprägt war – zumal in Regionen, in denen die menschliche Besiedlung weniger dynamisch verlief als in den dichter besiedelten Gebieten (siehe Abb. 1; hier muss jedoch das Problem der geringeren Sichtbarkeit menschlicher Aktivität im Trockenboden-Kontext bedacht werden). Daher wird hier im Folgenden kurz auf einige Charakteristika der Vegetationsentwicklung von Urwäldern eingegangen.

Wie oben beschrieben, hatte sich die schattentolerante Buche zu Beginn des Untersuchungszeitraumes bereits als dominierende Hauptbaumart in den Wäldern etabliert. Durch den Vergleich mit heute noch existierenden urwaldartigen Buchenwäldern könnte also die bestmögliche Analogie zu den Wäldern im Bodenseegebiet im 4. und 3. Jahrtausend erreicht werden. Solche Wälder sind heute jedoch wegen der Umwandlung der Natur- in eine Kulturlandschaft während der vergangenen Jahrtausende auf isoliert gelegene Regionen oder für die landwirtschaftliche Nutzung ungeeignete Lagen beschränkt.

Ein Urwald ist eine Waldgemeinschaft, die lediglich durch Eigenschaften und Prozesse der Umwelt ohne Einfluss des Menschen entstanden ist (Korpel 1995). Die Struktur und Dynamik eines vom Menschen unbeeinflussten Waldes wird z.B. bei Härdtle et al. (2004, S. 79 ff.), Faliński (1986) sowie Leibundgut (1993, 1982) charakterisiert. Danach ist es eine Gemeinsamkeit von Urwäldern, dass ein räumliches Nebeneinander von verschiedenen Entwicklungsphasen beobachtet werden kann. Diese weniger als einen bis mehrere Hektar großen Bestände durchlaufen nacheinander verschiedene, charakteristische Phasen, die als Verjüngungs-, Optimal-, Terminal- und Zerfallsphase beschrieben werden können. In einem später als simplifizierend und deterministisch kritisiertem Modell beschreibt Remmert (1991) im „Mosaik-Zyklus-Konzept“ die parallel voranschreitende Entwicklung der Bestände innerhalb eines Urwaldes, die mit anderen Beständen in unterschiedlichen Phasen eng verzahnt sind. Wenn auch die Linearität in Remmerts Modell durch die Berücksichtigung alternativer Entwicklungsphasen als überholt gilt (siehe Abb. 5), ist es gerade wegen seiner stark vereinfachenden, schablonenhaften Beschreibung wesentlicher Eigenschaften wertvoll und wird daher in der vorliegenden Arbeit verwendet (z.B. Härdtle et al. 2004; Koop 1982).



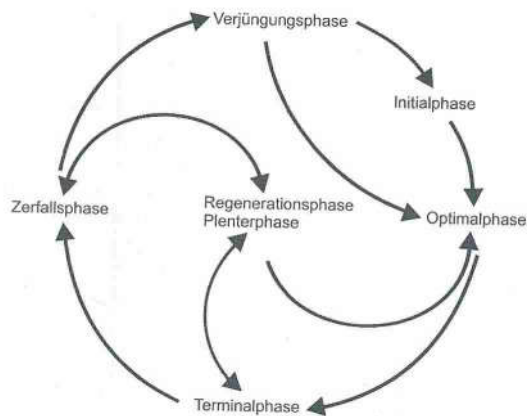


Abb. 5: Modell der möglichen Abfolge verschiedener Bestandesentwicklungsphasen in einem montanen Fichten-Tannen-Buchenurwald (nach Härdtle et al. 2004 S. 86)

Die Flächenanteile und die jeweilige Dauer der Entwicklungsphasen wurden von Mayer und Neumann (1981) anhand eines urwaldähnlichen Waldes in Österreich untersucht (siehe Abb. 19); diese Untersuchung habe ich für die Simulation der Walddynamik in einer ersten Version des unter Kap. 7 beschriebenen Modells verwendet. Ein Modell der Entwicklung eines ungestört aufwachsenden Buchen-Eschenwaldes findet sich bei Emborg et al. (2000); dieses wurde einer späteren Modellversion zugrunde gelegt (siehe Abb. 32-34 in Kap. 7).

Der größte zusammenhängende Flachlandurwald Europas liegt in der Region Bialowieza an der Grenze zwischen Weißrussland und Polen (Faliński 1986). Hier stockt auf den vom Grundwasser unbeeinflussten Bereichen ein Hainbuchen-Linden-Eichenmischwald (*Tilio-Carpinetum*). Weil die Buche mit den kalten Wintern in diesem Klima an der Grenze zwischen Subkontinental und Kontinental nicht zurechtkommt, eignet sich dieser Wald zwar zur generellen Charakterisierung von Flachlandurwäldern, nicht jedoch als explizites Modell für die Urwälder im Alpenvorland.

Leibundgut (1993, 1982) konnte in Bosnien, in Slowenien und in der ehemaligen Tschechoslowakei ausgedehnte Buchenurwälder untersuchen. Er kann zeigen, dass auch „bei anfänglicher Stufigkeit eine ausgeprägte Neigung zur Bildung gleichförmiger, einschichtiger Bestände mit einer sehr spärlichen und vorwiegend von Schatten ertragenden Nebenbaumarten gebildeten Mittel- und Unterschicht besteht“ (1993, S. 249). Dauernd ungleichförmige Bestände finden sich im Urwald nur auf extremen Standorten, welche keinen dichten Kronenschluss erlauben. Nach Leibundgut (1982) sind Buchenurwälder durch gleichförmige, nahezu ausschließlich aus Buchen bestehende, hallenförmige Bestände gekennzeichnet. Weder Mittel- noch Unterschicht sind demnach deutlich ausgeprägt. Stattdessen treten Zerfalls- und Verjüngungsphase nur kleinflächig auf, und große Areale werden von Beständen in der Optimal- und Altersphase gebildet. Die hohe Konkurrenzkraft der Buche bewirkt, dass die entstandene Lücke nach dem Zusammenbruch überalterter Bäume durch bereits vorhandenen Jungwuchs rasch gefüllt wird.

Die Analogie legt in Kombination mit den pollenkundlichen Ergebnissen also nahe, dass auf den geeigneten Standorten im Jungneolithikum große Flächen von einem einschichtigen und gleichförmigen Buchenmischwald in der Optimal- oder Terminalphase bedeckt waren. Als „geeigneter Standort“ können dabei weite Teile der Landschaft betrachtet werden: Parabraunerden auf hügeligen oder flachen Bereichen ohne extremen Stauwassereinfluss oder Bodentrockenheit. Eingesprengt wuchsen Linden, Eichen, Eschen und weitere Waldbäume, wie aus den entsprechenden Pollenprofilen hervorgeht, und vereinzelt traten Lücken im Kronendach auf. Dies ist eine generalisierte Aussage und stellt nicht in Abrede, dass durch natürliche Extremereignisse wie Dürre, starken Frost oder Sturmwurf auch große Lücken mit anschließender flächenhafter Sekundärsukzession hervorgerufen wurden.

Ein abweichendes Waldbild ergibt sich für Standorte, an denen deutlich veränderte Bedingungen hinsichtlich des Bodens, des Kleinklimas oder des Reliefs erwartet werden können. Hier wuchsen Wälder mit Bäumen, die unter den jeweiligen Bedingungen konkurrenzstärker als die Buche waren. Eine Zunahme der Bodenfeuchtigkeit in den Bach- und Flusstälern sowie an grundfeuchten Unterhanglagen fördert vermutlich Erlen-Eschenwälder, in denen neben den namensgebenden Arten auch die Stieleiche und weitere sog. Edelbaumarten wachsen (Härdtle et al. 2004 S. 179). Mit zunehmendem Wassergehalt lösen dann Grauerlen und in unmittelbarer Wassernähe auch Silberweiden die vorig genannten Arten ab. Bodentrockenheit auf sandigen oder felsigen Böden begünstigte Kiefern und Traubeneichen (Lang 1990).

Für „Urwälder“ der zuletzt genannten Gesellschaften fehlen geeignete Beschreibungen von heutigen Analogien; jedoch kann aufgrund des Zurücktretens der Buche als alleinig konkurrenzstärkster Art angenommen werden, dass sich das Waldbild von den oben genannten „Hallenwäldern“ bei Buchendominanz unterschied. Während jene lediglich kleinflächige Lücken aufweisen und insgesamt eine sehr gleichmäßige Struktur auch im zeitlichen Verlauf zeigen, kann für die letztgenannten Wälder eine größere Vielfalt nicht nur der Baumarten, sondern auch der Bestandesstruktur angenommen werden. Möglicherweise trifft hier das Bild eines Plenterwaldes zu, der durch das Nebeneinander aller Baum-Altersklassen charakterisiert ist. Nach Härdtle et al (2006, S. 86) können besonders Bergmischwälder eine plenterartige Struktur aufweisen. Als Referenz für einen naturnahen Erlen-Bruchwald kann das 576 Ha große Schutzgebiet Jursky Sur in der Slowakei herangezogen werden. (Korpel 1995, S. 46). Im Wesentlichen wird es aus den Pflanzengesellschaften *Saliceto-Alnetum* und *Betulo-Alnetum* gebildet. Das Alter der Bäume erreicht dort im Maximum 140 Jahre, und ein gesamter Bestandeszyklus dauert etwa 140-170 Jahre.

## 4 Die Neolithischen Siedlungen im Untersuchungsgebiet

Der Untersuchungszeitraum umfasst die Perioden des Jung- Spät- und Endneolithikums, wobei der Fokus auf der Zeit zwischen 4000 und 2400 v. Chr. liegt. In diesem Zeitraum sind im Untersuchungsgebiet Zeugnisse der archäologischen Gruppen Cortaillod, Schussenried, Pfyn, Pfyn-Altheim, Horgen, Goldberg 3 und Schnurkeramik belegt (siehe Tab. 1). Wenn im Folgenden das Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums angesprochen wird, bezeichne ich es als Untersuchungseinheit. Die Neolithische Lebensweise – durch die Kombination von Getreidebau, Viehhaltung, der Verwendung von Keramik und geschliffenen Steinwerkzeugen definiert – ist in Mitteleuropa seit ca. 5500 v. Chr. dokumentiert. Spuren alt- und mittelneolithischer Besiedlung sind auch aus dem Untersuchungsgebiet bekannt. Jedoch weisen diese in keinem Fall einen Feuchtbodenkontext auf, sondern befinden sich zum Beispiel in der fruchtbaren Landschaft des Hegau (Lechterbeck und Merkel 2014; Matuschik und Schlichtherle 2016).

Die ältesten bekannten Feuchtbodensiedlungen im nordwestlichen Alpenvorland stammen aus der Zeit um 4300/4200 v. Chr. Sie sind durch ihre heute feuchten bis wassergesättigten Erhaltungsbedingungen charakterisiert und wiesen auch während der Nutzungszeit ähnliche Bedingungen auf, weil sie an Seeufern oder in Feuchtgebieten errichtet wurden. Dies lässt sich aus der häufig sehr guten Erhaltung organischen Materials schließen, welches anderenfalls viel stärker abgebaut wäre. Während des gesamten Neolithikums reißt diese Besiedlungsform nicht ab; zwar gibt es zwei Phasen um 3500-3400 und 2800-2700 v. Chr. von etwa 100 Jahren ohne Belege von Feuchtbodensiedlungen, aber nach diesen Unterbrechungen lässt sich eine Wiederaufnahme dieser Lebensweise nachweisen.

Perioden		Kulturen und Regionen			
1/4 Jt. BC cal	Lüning 1996	Zentral-CH Zürichsee	Bodensee	Ober- Schwaben	Alpenrhein Lichtenstein
		Glockenbecher			
2500	End- neolithikum			?	?
2750		<b>Schnur- keramik</b>	Schnur- keramik	?	?
3000	Spät- neolithikum	<b>Horgen</b>	Horgen	<b>Goldberg 3</b>	Carasso- Tamins
3250				<b>Horgen</b>	
3500		Übergang Pfyn-Horgen	Übergang Pfyn-Horgen	?	?
3750	Jung- neolithikum	<b>Pfyn</b>	Pfyn	<b>Pfyn-Altheim</b>	Pfyn
4000		<b>Cortallod</b>		<b>Schussenried</b>	Lutzen- güetle
4250		<b>Egolzwil</b>	?	Aichbühl	
4500				epirössener Kugelbecher- Gruppen / SBG	
4750	Mittel- neolithikum			Rössen	
5000					

Tab. 2: Chronologie und archäologische Kulturen im Untersuchungsgebiet und -zeitraum. Verändert nach Ebersbach (2010 a)

Selbst das Ende des Jungneolithikums hat keine einschneidende Funktion, da noch bis weit in die nachfolgende Bronzezeit hinein Feuchtbodensiedlungen bekannt sind. Die jung- bis endneolithischen Feuchtbodensiedlungen waren mit 10-20 Häusern oft eher klein, jedoch sind auch sehr große Siedlungen mit mehreren Hundert Häusern bekannt (Ebersbach 2010a, 86 ff). Je nach den lokalen Bedingungen unterschied sich die Bauweise der aus Holz gebauten Häuser: Neben echten Pfahlbauten, die im Überflutungsbereich großer Seen im Alpenvorland lagen (z.B. Bleicher 2016; Dieckmann et al. 2006) gab es auch nur leicht abgehobene Bauten in Feuchtgebieten (z.B. Maier et al. 2016).

Auch in der Siedlungsstruktur gibt es eine hohe Variabilität, deren Dynamik sich mittlerweile deutlich nachzeichnen lässt (Hafner et al. 2016). In der Regel waren diese Siedlungen recht kurzlebig: Nach Ebersbach (2010a, 99 ff.) liegt der Median der Besiedlungsdauer bei nur 9-11 Jahren, und auch Bleicher (2009, 152) beschreibt einen Nutzungszeitraum von 5-15 Jahren. Viel seltener sind Siedlungen von längerer Laufzeit belegt; die Maxima liegen bei 80-120 Jahren (Ebersbach 2010a, Abb. 97).

## 5 Existierende Modelle von Landnutzung und Ernährung in den neolithischen Moor- und Seeufersiedlungen

### 5.1 Quellenlage

Informationen zu Landnutzung und Ernährung lassen sich aus verschiedenen Quellengattungen gewinnen. Zum einen aus archäologischen Funden. Wegen der guten Erhaltungsbedingungen in den Feuchtbodensiedlungen können recht unterschiedliche Geräte identifiziert werden, die vermutlich im engeren oder weiteren Sinne der Nahrungsproduktion dienten. Eine Übersicht dazu bietet Ebersbach an (2002, 23). Sie analysiert dass zwar der Nutzen bestimmter Geräte sich nicht immer eindeutig aus der Form ableiten lässt, erkennt aber dennoch eindeutig landwirtschaftliche Geräte wie Getreidesicheln oder Hacken. Schwieriger ist die Situation bei landwirtschaftlichen Gebäuden. So seien eigenständige bauliche Einheiten die sicher einer landwirtschaftlichen Sonderfunktion dienten, nur in Ausnahmefällen auszumachen.

Eine weitere Quellengattung stellen die Analysen der im Fundgut oder den Sedimenten in direkter Nähe zur Siedlung enthaltenen botanischen Reste dar (z.B. Antolin et al. 2016a; Maier 2004; Jacomet et al. 1989). Aus dem Vergleich der geborgenen Samen und Pflanzenteile mit heutigen Vergleichssammlungen lassen sich Aussagen über die Kultur- und Wildpflanzen während des Jungneolithikums treffen.

Auch die Analyse der geborgenen Hölzer kann diesem Zweck dienen. So analysieren Billamboz (2014) und Bleicher (2009) Nutzungszyklen und Waldbewirtschaftungsmethoden in den Feuchtbodensiedlungen auf Grundlage von Analysen der Jahrringmuster in den geborgenen Pfählen. Off-site-Analysen sind schließlich geeignet, um aus der Untersuchung der enthaltenen Pflanzenpollen auf die Vegetationsdecke zu schließen.

## 5.2 Kulturpflanzenanbau

Der Kulturpflanzenanbau in Zentraleuropa ist nicht erst seit dem Einsetzen der nordalpinen Feuchtbodensiedlungen um 4400 v. Chr. (Suter und Schlichtherle 2009) belegt, sondern bereits mit dem Aufkommen der Linearbandkeramik um 5500-5300 v. Chr. dokumentiert (Bickle und Whittle 2013; Price 2000; Shennan et al. 2013). Funde von Getreidekörnern und -Ähren und weiteren Kulturpflanzen, Reste von Getreidebrei und Funde von Werkzeugen zur Produktion und Verarbeitung von Getreide (z.B. Getreidemöhlen, Erntemesser mit Sichelglanz und „Grabstöcke“) weisen direkt auf den Anbau und die Verarbeitung von Kulturpflanzen hin.

Bedingt durch die außergewöhnlich guten Erhaltungsbedingungen für viele organische Materialien in den sauerstoffarmen Kulturschichten können gut begründete Aussagen zur Lebens- und Ernährungsweise in den Feuchtbodensiedlungen getroffen werden. Die Forschungsgeschichte reicht diesbezüglich bis weit ins 19. Jahrhundert zurück, wie aus den frühen Publikationen von Heer (1866) zu den Pflanzenfunden der Pfahlbauten ersichtlich wird. Der heutige Wissensstand gründet sich auf Daten aus langjähriger und intensiver Forschung, die in zahlreichen Einzeldarstellungen und mehreren Synthesen publiziert wurden.

### 5.2.1 Arten- und Sortenspektrum während des Jung- bis Endneolithikums

Während des betrachteten Zeitraumes 4000-2400 v.Chr. liegen für das Untersuchungsgebiet, besonders aus Oberschwaben sowie von Bodensee und Zürichsee, zahlreiche Belege für Nutzpflanzenanbau vor. Stetig vorhandene Zeugnisse des Getreideanbaus belegen dessen hohe Bedeutung, jedoch lassen sich bezüglich der angebauten Arten deutliche regionale und zeitliche Unterschiede feststellen. Die nachgewiesenen Getreidearten sind Nacktweizen (*Triticum durum/turgidum*, L.), Emmer (*Triticum dicoccon* SCHRANK), Einkorn (*Triticum monococcum* L.) und Gerste (*Hordeum vulgare* L.). Wie zuletzt Maier (2015, S. 313) darlegen konnte, ist um 4000-3900 v. Chr. im Bereich der Schussenrieder Kultur in Oberschwaben Einkorn meist das Hauptgetreide, während am Zürichsee um diese Zeit Nacktweizen dominiert (Jacomet 2007, S. 244).

Der Bodensee ist den beiden Einflüssen ausgesetzt, und so dominiert in den Siedlungen am nördlichen Teil der Einkornanbau, während im westlichen Bereich eine Dominanz des Nacktweizens vorliegt. Während der Pfyner Kultur ist der Nacktweizen dann das Hauptgetreide, während Gerste, Einkorn und Emmer untergeordnete, aber stetige Bedeutung haben. Der Anteil von Nacktweizen am Getreidespektrum bleibt während der Horgener Kultur und bis zur Schnurkeramik hoch, bis er nach 2750 v. Chr. dann kaum mehr nachgewiesen werden kann (Jacomet 2006). Nach 3500 v. Chr. und

wohl auch über das Ende der Schnurkeramik hinaus wird Emmer das bedeutendste Getreide, während Gerste und Einkorn weiterhin Teil des Anbauspektrums bleiben. Während Getreide wohl den bedeutenderen Anteil in Bezug auf die Kalorienversorgung der Siedlungen hatte, stellen Samen des Schlafmohns (*Papaver somniferum L.*) und des Leins (*Linum ussitatissimum L.*) am Zürichsee mit insgesamt rund 75% den größten Teil der Kulturpflanzenfunde dar (Brombacher und Jacomet 1997, S. 234). Welchen Anteil diese Pflanzen an der Gesamtsumme der verzehrten Kalorien hatten, ist schwer zu sagen. Auch die Bedeutung von Erbsen (*Pisum sativum L.*) ist schwer einzuschätzen; zwar finden sich in der Mehrheit der untersuchten Kulturschichten am Zürichsee Funde von verkohlten Erbsen, jedoch handelt es sich dabei meist um Einzelfunde; Vorräte lassen sich mit Ausnahme der Horgener Kulturschicht aus Zürich-Mozartstrasse 3 bislang nicht nachweisen (Brombacher und Jacomet 1997 S. 238). Allerdings weisen neueste Erkenntnisse aus der Grabung Opera in Zürich auf eine viel höhere Bedeutung der Erbsen hin als bisher gedacht, weil zuvor die Hülsenreste kaum erkannt worden sind (Antolin et al. 2016b).

### 5.2.2 Anbauverfahren

Unter dem Begriff Anbauverfahren wird hier die geregelte Abfolge von Maßnahmen verstanden, die sich im Jahresturnus wiederholen und dem Anbau von Feldfrüchten (hier im speziellen Getreide) dienen. Dieser Aspekt der Forschung in den Feuchtbodensiedlungen ist von besonderem Interesse, weil aus publizierten Datensätzen die zwei sehr unterschiedlichen Modelle „Shifting Cultivation“ einerseits und „permanenter (gartenähnlicher) Feldbau“ andererseits abgeleitet wurden. Diese werden seit Jahrzehnten kontrovers diskutiert (z.B. Jacomet et al. 2016, 1989; Ehrmann et al. 2014; Rösch 1987) und es kann vermutet werden, dass sie aufgrund ihrer jeweiligen spezifischen Erfordernisse und Eigenschaften vermutlich sehr verschiedene Auswirkungen auf das sozioökologische System hatten. Die beiden Modelle werden im Folgenden vorgestellt. Zusätzlich wird hier mit dem Pflugbau noch ein drittes Modell diskutiert, für welches zwar während des Untersuchungszeitraumes keine Belege vorliegen, welches aber in Kap. 7 zu Vergleichszwecken dennoch verwendet wird. Generell dient der Feldbau der Produktion von Feldfrüchten. Dabei ist die Höhe des Ertrages von verschiedenen Faktoren abhängig, wie in Abb. 6 dargestellt ist.

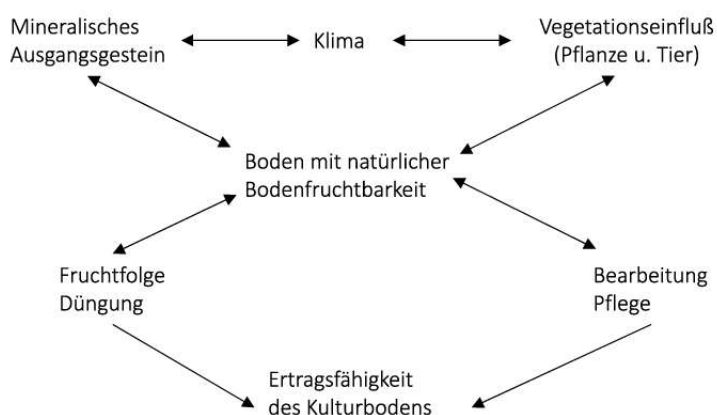


Abb. 6: Natürliche Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit von Kulturböden. Nach Meyer (1958) und Tassiopoulos (1977 S. S7)

### 5.2.2.1 Brandfeldbau: ethnologische und historische Belege für das Verfahren

Feuer hat seit der frühesten Menschheitsgeschichte eine bedeutende Rolle in vielen Prozessen gespielt (Pausas und Keeley 2009). Neben der Nutzung seiner Eigenschaften, Wärme zu spenden und Nahrung leichter erschließbar zu machen, spielt es eine zentrale Rolle bei einem Anbauverfahren, welches bis heute in 40-50 Ländern vor allem der Tropen und Subtropen eine teilweise große Verbreitung besitzt (Mertz et al. 2009). Dieses Verfahren wird in englischer Sprache als shifting cultivation, swidden cultivation oder slash and burn bezeichnet. Auch in verschiedenen europäischen Regionen konnte das Verfahren bis in die Neuzeit hinein beobachtet werden und wurde in deutschsprachigen Regionen unter anderem als Reutbrennen, Schwendbau und Haubergswirtschaft bezeichnet (Steensberg 1993). So unterschiedlich die Namensgebung ist, so vielfältig sind auch die Verfahren im Detail. Beranová (1980, S.295, zitiert in Smerdel 2014, S. 26) beschreibt in ihrer Studie über die Landwirtschaft der Slaven fünf unterscheidbare Verfahren mit Feuereinsatz: 1) das Abbrennen von Hochwald; 2) das Abbrennen von Dickichten und Jungwuchs; 3) die Verbrennung von Torf und Rohhumus auf Meilern; 4) das Abbrennen der oberen Schichten entwässerter Moore; 5) Das Abbrennen von Gras und grasigem Unterwuchs.

Dem Feuer kommt in diesen Verfahren eine mehrfache Rolle zu: zum einen hilft es dabei, eine später (auch) für den Anbau von Feldfrüchten vorgesehene Fläche von Vegetation zu befreien. Zum anderen wird durch die Hitze des Brandes eine Nitrifikation bewirkt, was eine starke Düngewirkung entfaltet. Drittens wird auch durch die entstehende Asche und die Mikropartikel der Holzkohle ein positiver Einfluss auf den Anbau von Kulturpflanzen bewirkt (Nye und Greenland 1961; Juo und Manu 1996; Ehrmann et al. 2014, 2009). Nach einer kurzen Periode des Anbaus von einem bis wenigen Jahren wird die Fläche der Sekundärsukzession überlassen und kann nach einer bestimmten Dauer, wenn ausreichend Holz für den Brand nachgewachsen ist, erneut für das Verfahren genutzt werden. Mertz et al. (2009) definieren das Verfahren als „Landnutzungsverfahren unter Einhaltung einer Brache, die länger als die Anbaudauer auf der Fläche ist, und deren Vegetation mit Hilfe von Feuer gerodet wird“ (eigene Übersetzung).

Das Wissen über diese Verfahren war und ist in vielen Kulturen weltweit verbreitet. Der Einsatz von Feuer zur Nutzbarmachung von Land und zur Verbesserung der Bodeneigenschaften kann „von Nord- und Südamerika über Afrika, Südasien, China und Korea bis nach Russland und Europa verfolgt werden“ (Steensberg 1993, S. 11-13). Bei ihm sowie in Sigaut (1975) wird ersichtlich, dass in Europa unterschiedliche Formen der Feuernutzung im landwirtschaftlichen Kontext noch im 20. Jahrhundert in mindestens drei europäische Regionen vorkamen: In Finnland, Russland und dem Baltikum, in zentraleuropäischen Gebirgsregionen (z.B. dem Schwarzwald, den Vogesen und den österreichischen Alpen) sowie in südeuropäischen Bergregionen Frankreichs und Spaniens. I

n seiner ethnologischen Studie beschreibt Steensberg (1993) unter Verweis auf zahlreiche lokale Untersuchungen Verfahren der Feuernutzung in der Landwirtschaft. Im Folgenden wird cursorisch aus dieser Arbeit zitiert, um einen breiten Überblick über die Vielfalt der Methoden zu geben, ohne allzu sehr ins Detail zu gehen.

So wurde in Finnland auf Feldern nach Brand ein 9-12-facher Kornertrag während einer Anbauperiode von maximal 3-4 Jahren erwirtschaftet, danach wurden die Flächen für 20 Jahre brach liegen gelassen (Steensberg 1993 S. 124 ff.). In Litauen wurde im Mittelalter vom 29. Juni bis zum 15. August gebrannt und im Folgefrühling eingesät. In Polen fand der Getreideanbau in einem System von zwei verschiedenen Feldtypen statt, einem außerhalb der Wälder gelegenen, dauerhaften Feldbau und einem innerhalb der Wälder gelegenen Brandfeldbau. In Russland, Norwegen und in Estland gibt es Belege von 50-fachen Kornertrag unter Verwendung eines speziellen „swidden rye“ („Brandfeldbau-Roggen“) (Steensberg 1943 S. 126; siehe auch Jääts et al. 2011 S. 127). In Polen (Kowalska-Lewicka

1972, S. 119 -142) wurde im Herbst gefällt, die Fläche im Sommer überbrannt und im Herbst eingesät. Nach drei Jahren wurde der Anbau eingestellt und die Fläche als Weide genutzt. Ebenda wird beschrieben, wie in Bezirk Limanowa 10 Jahre alte Gebüsche gefällt und über die Fläche verteilt wurden; an einem sonnigen Tag im Folgenden Frühjahr wurde die Fläche angezündet und die Brände wurden von Menschen mit langen Stangen kontrolliert. Das Verfahren gab auch auf steinigten Flächen für die Dauer von zwei Jahren einen guten Ertrag. In Stari Kolasin (Kosovo) wurden die Bäume in Juli und August gefällt, am 28. August angezündet und die Fläche zum Getreidebau oder als Viehweide genutzt. Nach 4-5 Jahren mussten die Felder erstmalig gedüngt werden. Wenn die Erträge eines Feldes zufriedenstellend waren, wurde der Anbau weitere 2-3 Jahre durchgeführt.

In den Karstgebieten von Herzegovina wurde zwischen zwei Anbauperioden eine Brache von 20-30 Jahren eingehalten (Steensberg 1993 S.133). In Ungarn wurde der Anbau auf Feldern von grauschwarzem Boden nur für wenige Jahre durchgeführt, während auf Feldern mit gelbem Lehm dauerhafter Anbau stattfand. Hlubek (1846) beschreibt die Durchführung von Brandfeldbau für ein Gebiet nahe Maribor: nur auf den ärmsten Böden wurde gebrannt, dann für die Dauer eines Jahres Roggen kultiviert, und die Fläche dann für 4-6 Jahre als Weide verwendet. Anschließend wurde die Nutzung eingestellt, bis der Zyklus im 12.-15. Jahr erneut begann. In einem anderen Verfahren wurde ein 30-40-jähriger Wald eingeschlagen, dessen Zweige auf der Flächen verbrannt, und Roggen eingesät. Dieser war hoch geschätzt, weil er praktisch frei von Unkrautsamen war. Danach wurde die Fläche für 6-10 Jahre als Weide verwendet. Der Zyklus konnte nach 15-30 Jahren erneut begonnen werden. In der Steiermark wurden nach dem zweiten Weltkrieg 25 Jahre Umtriebszeit für einen Nadelwald eingehalten, 18-20 Jahre für einen Hasel-Birken-Erlenwald und 10-12 Jahre in einem reinen Erlenwald (Frühwald 1987, S. 173).

Im Ultental (Südtirol) wurden „die Umfelder permanenter Ansiedlungen durch wiederholtes Brennen und Einschlagen allmählich in Grasland umgewandelt“ (Steensberg 1993, S. 144). Im Simonswälder Tal und im Kinzigtal bei Freiburg wurde noch Anfang des 20. Jahrhunderts das Gereuthbrennen durchgeführt, wo nach 5-12 Jahren eine mit Besenginster überwachsene Fläche eingeschlagen und für den Roggenanbau verwendet wurde. Bereits nach einem Jahr mussten die Flächen gedüngt werden (Wehrle 1956). Im Odenwald wurden bis ins 20. Jahrhundert hinein 12-18jährige Eichen auf bevorzugt südexponierten Hängen gerodet, deren Rinde an Gerbereien verkauft, das Holz vor dem 20. Juni verbannt und dann für die Dauer von 2 Jahren Getreideanbau betrieben. Diese Flächen durften nicht beweidet werden. In Bayern wurden auf überbrannten Feldflächen zwei Getreideernten eingefahren, bevor Nadelwald eingesät wurde.

Smerdel (2014, S.29 ff.) konnte Menschen befragen, die in einer abgelegenen Bergregion in Slowenien noch selbst Brandfeldbau betrieben haben. Nach deren Angaben wurden bevorzugt die besten Böden mit einer geschlossenen Vegetationsdecke ausgewählt. Um das Holz auf einer Fläche von 0,8 ha (einer „Velna“) zu fällen, benötigten 8-10 Männer drei Tage (mit Eisensägen und -Äxten). Nachdem die Stämme über den Winter getrocknet waren, wurde das dickere Stammholz abtransportiert. Im April oder Mai wurde mit dem Schwachholz der eingeschlagenen Fläche eine Feuerwalze die meist steilen Hänge langsam talwärts gerollt. Anschließend wurden 5-6 Stunden benötigt um die Asche unterzuhacken, und nach 2-3 Tagen wurde Hirse eingesät. Diese konnte im September geerntet werden, und im Oktober wurde Winterweizen gesät. Wenn der Boden gut genug war, konnte im Folgejahr noch ein dritter Anbau durchgeführt werden, bevor die Fläche für mehrere Jahre als Viehweide verwendet wurde, bis Stauden und Gebüsche und allmählich auch Bäume überhandnahmen.

Die Autorin der Studie betont, dass das wichtigste Ziel des Verfahrens die Schaffung guter Viehweiden gewesen sei, ähnlich wie bereits zuvor für Europa generell von Iversen (1941) und Kaland (1979) formuliert. Sie hebt hervor, dass es eine spezielle Anpassung an eine lokale Situation sei, und nicht

als der letzte Rest einer einstmals allgemeinen und weitverbreiteten Methode gesehen werden dürfte. (Diese Sichtweise wurde von beispielsweise von Boserup (1965) in ihrer einflussreichen Arbeit über die Evolution von agrarischen Gemeinschaften geäußert). Stattdessen war der Brandfeldbau eine Antwort auf die sehr schlechte Nahrungsversorgung für Mensch und Vieh in den entfernten gelegenen, steilen Bergregionen. Die Kultivierung der permanenten Felder, welche ungleich weniger fruchtbar waren als die Böden in den großen Flusstälern, reichte zur Nahrungsversorgung schlichtweg nicht aus. Die Nährstofffreisetzung durch den Brand erhöhte den Ernteertrag um etwa ein Drittel im Vergleich zu den permanenten Feldern.

Auch für zahlreiche außereuropäische Regionen sind vielfältige Formen des Brandfeldbaus belegt. Auf diese wird jedoch hier nicht eingegangen, stattdessen wird auf die Studien von Mertz (2009) und Mertz et al. (2008) verwiesen, die hier einen guten Einblick in das weite Feld bieten. Zusätzlich sei noch auf eine archäologische Studie von Höhn und Neumann (2011) verwiesen, die Shifting Cultivation für die Eisenzeit in der Sahelzone belegen kann.

#### 5.2.2.2 Brandfeldbau als Modell für die Feuchtbodensiedlungen

Für das Untersuchungsgebiet wird ebenfalls ein Anbauverfahren mit Einsatz von Feuer rekonstruiert, für welches die Bezeichnungen Shifting Cultivation, Slash and Burn und zuletzt Extensive Fire Cultivation verwendet werden (Baum 2014; Ehrmann et al. 2014, 2009; Rösch und Lechterbeck 2016; Rösch et al. 2002; Rösch 1987; Schier 2009), während in dieser Arbeit der Begriff „Brandfeldbau“ verwendet wird. Die erste Formulierung der Vorstellung, dass Brandfeldbau im neolithischen Kontext eine bedeutende Rolle gehabt haben könnte, wurde bereits 1929 von Childe für die Bandkeramik formuliert (Childe 1929, S. 45 ff.). In den folgenden Jahrzehnten wurde diese Hypothese von zahlreichen Forschern verfolgt, wobei sich die ursprüngliche Idee der Trägerschaft dieses Verfahrens durch einwandernde Menschengruppen hin zur Anwendung durch eine indigene, mesolithische Bevölkerung wandelte (Bogaard 2004 S. 26 und dort zitierte Literatur).

Mit Bezug auf die (räumlich nach Westen erweiterte) Untersuchungseinheit wird das Modell seit den 1980er Jahren diskutiert (Ehrmann et al. 2009, 2014; Pétrequin 1996; Pétrequin et al. 1998; Rösch 1987; Rösch et al. 2014, 2002; Schier 2009). Die Hypothese beruht auf einem Befund der Pollenanalyse: dies sind die mit hoher Stetigkeit in zahlreichen Pollenprofilen insbesondere, aber nicht ausschließlich, des westlichen Bodenseebeckens dokumentierten Signale einer Vegetationsdecke, deren ursprünglich hoher Anteil an Buche, Linde und Ulme beginnend mit dem Übergang vom Mittel- zum Jungneolithikum um 4300 v. Chr. stark zurückgeht. Dies löst aber nicht etwa eine Zunahme von Nicht-Baumpollen aus, stattdessen ist ein starker Anstieg von Haselsträuchern (*Corylus avellana*) und in geringerem Umfang auch Birken (*Betula*) zu verzeichnen (u.a. Lechterbeck 2001; Rösch 1990; Rösch und Lechterbeck 2016; Rösch et al. 2014).

Diese Befunde gehen einher mit stark erhöhten Anteilen an mikro-Holzkohle (siehe auch Clark et al. 1989). Dies wird so interpretiert, dass in Zeiten erhöhter Bevölkerungsdichte große Teile des Primärwaldes gezielt der Sekundärsukzession unterworfen wurde, während der Anteil an Gräsern und Kräutern sich nicht erhöhte. Dahinter wird die Öffnung der Vegetationsdecke mit Hilfe anthropogener Feuer zum Zweck eines Getreideanbaus vermutet. Die so überbrannten Flächen hätten aufgrund der sehr hohen Nährstoffverfügbarkeit hohe Erträge erbracht, müssten jedoch nach einer sehr kurzen Periode des Anbaus von 1-3 Jahren wieder aufgegeben werden. Damit wären sie der Sekundärsukzession unterworfen, holzige Vegetation würde nachwachsen, und nach einer Periode geeigneter Dauer könnte die Fläche erneut für das Verfahren genutzt worden sein.



Rösch et al. (2002) erwägen, ob die Prozesse auch der Förderung von Bauholz und Viehfutter gedient haben könnten, entkräften die Möglichkeit jedoch mit dem Verweis, dass Bauholz ohnehin in ausreichendem Maß in den Wäldern vorhanden war, und dass die Anzahl gehaltener Rinder so klein war, dass sie ein Brennen des Waldes nicht gerechtfertigt hätte. Diese Hypothese wird jedoch nicht getestet und muss als unklar gelten. Neben diesem eindeutigen Befund deuten nach Ansicht der Autoren der genannten Studien auch weitere Zusammenhänge auf die Anwendung von Brandfeldbau als dominierendes Anbauverfahren insbesondere während des Jungneolithikums hin: Hier wird vor allem die Armut an Getreideunkräutern in den makrobotanischen on-site Funden angeführt (Rösch et al. 2014). (Dieser Befund wird jedoch von archäobotanischer Seite anders interpretiert; siehe unten).

Außerdem wird unter Bezug auf ein archäologisches Langzeitexperiment (Ehrmann et al. 2014, 2009; Rösch et al. 2002) vorgebracht, dass ein Anbauverfahren ohne Brand auf nicht-optimalen Böden mit den jungsteinzeitlichen Methoden vermutlich so geringe Erträge erbracht hätte, dass es nicht wirtschaftlich gewesen wäre. Diese Studie hat darüber hinaus umfangreichen Einblick in die ökologischen und arbeitsökonomischen Verhältnisse und Prozesse speziell des Brandfeldbaus geliefert (Ehrmann et al. 2014, 2009; Schier et al. 2013). So konnten auf den Brandflächen sehr hohe absolute Erträge erzielt werden, die jedoch einen hohen Arbeits- und Flächenbedarf bedingen. Die Autoren berechnen dennoch eine Produktivität für den Brandfeldbau, die ein zwei- bis vierfaches derjenigen von permanenten Anbauverfahren betragen.

Es gibt jedoch auch deutliche Kritik an der Hypothese des Brandfeldbaus für die Untersuchungseinheit. Zuletzt haben Jacomet et al. (2016) eine umfassende Arbeit vorgelegt, welche die Argumentation kritisch hinterfragt. Auch Bogaard (2002, 2004) und Maier (1999) lehnen Brandfeldbau als Modell sowohl für die Linearbandkeramik als auch die Feuchtbodensiedlungen ab. Die Diskussion wird mit den Ergebnissen dieser Arbeit in Kap. 7.5.2.3. und Kap. 10 gemeinsam aufgegriffen.

### 5.2.2.3 Permanenter (gartenähnlicher) Feldbau: Eigenschaften und Ausprägungen

Permanenter, pflugloser Anbau ohne Brand und ohne häufige Verlegung der Felder kann in unterschiedlicher Intensität und mit einer ganzen Reihe an Spezifikationen durchgeführt werden. Allen ist gemeinsam, dass die Bodenbearbeitung mit der Hacke, dem Grabscheit oder dem Spaten erfolgt, und das Jäten von Hand oder mit geeigneten Geräten durchgeführt wird. Unterschiede können jedoch beispielsweise bezüglich des Einsatzes und der Höhe der Düngung, der Frage der Bewässerung, der Durchführung von Fruchtwechseln, oder der Einschaltung von Brachestadien bestehen. Die Details des Verfahrens sind dabei sicherlich unter Berücksichtigung der jeweiligen lokalen Bedingungen entstanden – so macht eine Bewässerung beispielsweise im regenreichen Alpenvorland kaum Sinn (Abb. ).

Das Verfahren hat im Gegensatz zum Brandfeldbau die Eigenschaft, dem Boden jährlich Nährstoffe zu entziehen (dabei kommt dem Stickstoff als zentralem Pflanzennährstoff eine entscheidende Bedeutung zu; siehe dazu Tassiopoulos 1977 S. 100), die nicht durch Asche oder hitzebedingt erhöhte Stickstoffmineralisierungsraten ausgeglichen werden. Daher können die mittleren Getreideerträge ohne entsprechende Gegenmaßnahmen mit der Fortdauer des Anbaus abnehmen. Die Rate dieser Abnahme hängt dabei entscheidend von den edaphischen Bedingungen ab. Böden haben ein bestimmtes natürliches Stickstoffmineralisierungspotenzial, welches von den physikalisch-chemischen Bodeneigenschaften und den klimatischen Bedingungen abhängig ist, und auch über biogene Prozesse beeinflusst wird.

Die Frage, wie schnell unter permanentem Anbau eine Ertragsminderung eintritt, hängt davon wesentlich ab, und ist eine wichtige Größe für das Verständnis der Anbauverfahren. Durch Düngung mit

Mist, durch Einhaltung von Brachzeiten und durch den gemeinsam oder zeitlich versetzten Anbau von Erbsen oder Linsen (die eine Symbiose mit stickstofffixierenden Bakterien eingehen) kann die Stickstoffverfügbarkeit des Bodens verbessert werden, so dass höhere absolute Erträge und eine verringerte Ertragsabnahme erzielt werden können.

Bogaard et al. (2016) vergleichen verschiedene heute beobachtete Verfahren in mehreren europäischen Regionen, auf welche die oben genannten Kriterien eines permanenten, gartenähnlichen Anbaus in unterschiedlichen Ausprägungen zutreffen. In der Arbeit zitiert sie verschiedene Studien, in denen vergleichbare permanente Anbauformen mit spezifischen Ausprägungen bezüglich Arbeitsinvestition, Düngereinsatz und erzielten Erträgen in Nordspanien, Frankreich, Griechenland, Rumänien und in der Türkei beobachtet werden konnten. Damit ist dieses Modell eines permanenten Getreideanbaus in der Gegenwart ebenfalls positiv belegt, wie oben bereits für die Brandverfahren gezeigt.

#### 5.2.2.4 Permanenter (gartenähnlicher) Feldbau als Modell für die Feuchtbodensiedlungen

Ein Modell von permanentem Getreideanbau auf für mehrere Jahre ortsfesten Feldern für die Feuchtbodensiedlungen wird unter Bezug auf verschiedene Analyseverfahren insbesondere aus den archäobotanischen Disziplinen rekonstruiert. Jacomet et al. (1989, 128 ff.) haben die ökologischen Zeigerwerte der Ackerbegleitpflanzen untersucht, welche mit den Getreidefunden in Ausgrabungen im Zürichsee assoziiert waren. Daraus leiten sie ein Modell ab, nach welchem im frühen Jungneolithikum eine relativ wenig gründliche oder nur flachgründige Bodenbearbeitung auf Feldern stattfand, die für eine Periode von mehreren Jahren für sortenreinen Anbau genutzt wurden. Im Horgen oder spätestens in der Schnurkeramik (Tab. 1) änderten sich diese Verhältnisse, so dass jetzt von deutlich verbesserter Bodenbearbeitung ausgegangen werden kann.

Die AutorInnen halten es für möglich, dass die archäozoologisch belegte stark erhöhte Bedeutung der Schweinehaltung diesen Effekt hervorgerufen haben könnte. Auch in einer späteren Untersuchung an Pflanzenresten aus der Siedlung Arbon-Bleiche 3 (3385-3369 v. Chr.) (Hosch und Jacomet 2004) rekonstruieren die Autorinnen einen permanenten Anbau auf intensiv bearbeiteten Feldern. Zu ganz ähnlichen Schlüssen gelangt Maier (1999). Sie interpretiert ihre archäobotanischen Analysen aus der Siedlung Hornstaad-Hörnle 1A (3919-3905 v. Chr.) dahingehend, dass das Getreide unter „typischen Feldbedingungen gewachsen ist, die mindestens für ein paar Jahre genutzt wurden“ (eigene Übersetzung). Die Ausbildung dieser typischen Ackerbegleitflora sei kaum vorstellbar, ohne dass solche Bedingungen vorgeherrscht hätten. Gemäß ihren Analysen und denen von Vogt (2001) wurde das Getreide auf Parabraunerden angebaut, dem Bodentyp mit der lokal höchsten Fruchtbarkeit.

Das Modell wird von Bogaard (2004) weiter unterstützt. Sie rekonstruiert für die Getreideproduktion in den Feuchtbodensiedlungen ebenso wie für Linearbandkeramische Siedlungen ebenfalls das Modell eines permanenten Anbaus mit einem hohen Einsatz von Zeit und Arbeitskraft. Auch sie kommt zu dem Schluss, dass nur die jeweils besten Böden für den Anbau in Frage kamen. Der Frage der Düngung der Felder gehen Bogaard et al. (2013) und Styring et al. (2016) nach. Sie können anhand ihrer Untersuchungen des Verhältnisses der Stickstoff-Isotope in den Getreidefunden unter anderem aus Hornstaad-Hörnle 1A und Sipplingen-Osthafen (verschiedene Besiedlungszeiträume, siehe Billamboz et al. 2010) Belege für einen Einsatz tierischen Düngers finden. Ihre Ergebnisse betonen die Bedeutung dieser Ressource sowie deren strategischen und zielgerichteten Einsatz auf der Ebene einzelner Haushalte.

#### 5.2.2.5 Pflugfeldbau

Der Pflugbau ist im betrachteten Zeitraum nicht belegt. Eindeutige Nachweise für Pflüge liegen erst ab der Frühbronzezeit in den Südalpen vor, jedoch gibt es indirekte Hinweise über Pflugspuren, die die Möglichkeit einer Nutzung von Pflügen bereits im Neolithikum eröffnen (Fries 1995 ; siehe Diskussion in Ebersbach 2002 , S. 34). Anatomische Untersuchungen an Rinderknochen belegen die Nutzung ihrer Zugkraft ab ca. 3400 v. Chr. (Schibler 2008 S. 385, Deschler- Erb und Marti-Grädel 2004), was jedoch nur das frühestmögliche Datum, aber eher nicht das tatsächliche Auftreten des Pfluges markiert, weil die Nutzung von Schleifen und auch von Wägen auf Rädern wohl früher einsetzten (Köninger 2002). Die (arbeits-) ökonomischen Implikationen des Pflugbaus, dessen frühe Phase als „Extensive Ard Phase“ bezeichnet wird (Bogaard 2011; zu den Belegen siehe auch Jacomet und Brombacher 2009), werden unter anderem bei Kerig (2007) ausgiebig diskutiert, und auch bei Ebersbach (2002, S. 135) werden Vor- und Nachteile des Pflugbaus gegenüber dem Hackbau diskutiert (siehe auch die in den Arbeiten jeweils zitierte Literatur).

Beide Autoren heben hervor, dass die Verwendung des Pfluges nicht unbedingt einen technologischen Fortschritt mit tatsächlichen Vorteilen für die betreffende Bevölkerung bedeuten muss. So ist zwar einerseits eine Arbeitserleichterung bei der Feldbestellung belegt, wodurch eine Erhöhung der bestellten Fläche bei gleichbleibendem Einsatz an menschlicher Arbeitskraft erreicht werden kann. Auch können – zumindest bei technologisch ausgereiften Geräten – schwerere Böden in die Nutzung mit aufgenommen werden, wodurch die Anbaufläche insgesamt erweitert wird, was insgesamt einer Extensivierung des Anbaus gleichkommt. Dies wird auch durch die Beziehungen zwischen Betriebsgröße und Anspannung deutlich: während Betriebe ohne Anspannung 2-5 ha bearbeiten, liegen typische Werte bei Ochsenanspannungen bei 8-10 ha.

Andererseits stellt das Zugvieh eine hohe Investition sowohl bei der Anschaffung als auch im Unterhalt dar. Aus diesem Grund schreibt Poinsoot (1806, zitiert in Kerig 2007 S. 386), dass „das Ackern mit dem Pfluge außer bei der Bestellung sehr großer Güter unwirtschaftlich und der Hauptgrund dafür ist, dass sich fast alle Kleinbauern zugrunde richten.“ Über die Art der Bodenbearbeitung hinaus müssen sich die agronomischen Praktiken nicht notwendigerweise von den für den permanenten (gartenähnlichen) Feldbau beschriebenen Methoden unterscheiden. Wenn er verfügbar war, war Mistdünger sicher eine wertvolle Ressource, und man kann spekulieren ob auf den größeren Flächen eher breitwürfig ausgesät worden sein mag als auf den kleineren, gartenähnlichen Feldern – was als ein weiterer Schritt der Extensivierung in Form geringerer Flächenerträge bei geringerer Arbeitsinvestition verstanden werden könnte.

### 5.3 Viehhaltung

Durch die Funde der Knochen von Rindern, Schafen, Ziegen und Schweinen in den Feuchtbodensiedlungen ist deren Haltung und Nutzung belegt (z.B. Hüster-Plogmann und Schibler 1997; Schibler 2008, 2006), wobei für letztere der Grad der Domestikation unklar ist (freundliche Mitteilung Jörg Schibler). Die Bedeutung insbesondere der Rinderhaltung für die Bewohner der Feuchtbodensiedlungen sowie die mit ihr einhergehenden charakteristischen Eigenschaften von Viehzucht treibenden Gesellschaften hat Ebersbach (2003) in einer umfangreichen Arbeit analysiert. Basierend auf der Untersuchung von dreißig Beispieldörfern und unter Verwendung archäozoologischer und ethnologischer Daten sowie eines früheren Modells zur Ernährung in den Feuchtbodensiedlungen (siehe 4.3) rekonstruiert sie vermutliche Herdengrößen, den Flächenbedarf für deren Weide, sowie den wahrscheinlichen Beitrag der Rinderhaltung an der Nahrungsversorgung.

Die Menge der gehaltenen Tiere in den Feuchtbodensiedlungen erschließt sie über die archäozoologische Berechnungsweise der Mindestindividuenzahl (MIZ) und berechnet auf dieser Grundlage einen Median von 0,11-0,21 Tieren pro Kopf der Bevölkerung bei Herdengrößen von höchstens 10-20 Tieren (mit Ausnahme der Siedlung Arbon-Bleiche 3, für die eine Herdengröße von bis zu 60 Tieren angegeben wird). Die Werteverteilung ist dabei deutlich linksschief, und der geringste berechnete Wert liegt bei einem Rind auf 30 Bewohner. Dabei ist zu bedenken, dass diese Werte auf nur zum Teil ergrabenen Siedlungen beruhen und die tatsächlichen Herdengrößen daher in vielen Fällen um einen gewissen Faktor größer waren. Im Vergleich mit früheren Arbeiten, die allerdings wesentlich auf Schätzwerten und Annahmen beruhten, sind diese Werte dennoch sehr gering, stellen aber vermutlich die verlässlichste existierende Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse dar (Diskussion in Ebersbach 2013 S. 180 ff.). Bezüglich der Frage, warum überhaupt Rinder gehalten wurden, kommt die Autorin zu dem Schluss, dass „ein ökonomischer Grund, Rinder zu halten für das Jungneolithikum am Zürichsee aus unserer heutigen Perspektive nicht ersichtlich ist“. Die Nutzung der Arbeitskraft erfolgte erst ab 3400 v. Chr.

Die Nutzung von Milch und deren Weiterverarbeitung schließt Ebersbach auf Grundlage der erstellten Analogien aus den 30 untersuchten Dörfern als Haltungsgrund ebenso aus wie die Fleischnutzung, weil diese aus arbeitsökonomischen Gründen ineffizient ist, und weil der Rinderbesatz in keinem der untersuchten Dörfer mit dem Fleischverzehr korreliert. Auch die Dungproduktion im Rahmen des Getreideanbaus schließt sie aus, da entsprechende Zeigerpflanzen fehlten und insbesondere wegen des Fehlens von Stallgebäuden, die aber eine wesentliche Voraussetzung für die effiziente Düngung darstellten. Demnach bleiben für die Autorin im Jungneolithikum letztlich nur eine spekulative Verwendung der Rinder als Tauschgüter (nach Mainberger 1998, 299 ff.), oder eine in den Bereich des kultischen zu verortende Bedeutung.

Allerdings muss man an dieser Stelle fragen, wie verlässlich sich die Dungproduktion als möglicher Grund für die Rinderhaltung auf Grundlage der genannten Kriterien ausschließen lässt; wie bereits oben zitiert, können Bogaard et al. (2013) und Styring et al. (2016) die Mistdüngung für zwei Siedlungsstellen mit jung- bis endneolithischer Belegung nachweisen. Denkbar wäre, dass Stallgebäude sich im nahen Umfeld der Feuchtbodensiedlungen auf trockenem Boden befanden. Aber darüber lässt sich leider nur spekulieren, weil entsprechende Befunde nicht bekannt sind und vermutlich auch nicht bis heute überdauert hätten.

#### **5.4 Nahrungsversorgung der Siedlungen**

Gross et al. (1990) haben ein Modell der Nahrungszusammensetzung für ein Dorf mit sechs Häusern am nördlichen Zürichseeausfluss (Grabung Zürich AKAD, Schicht J) entwickelt, welches von Ebersbach (2003) modifiziert und in einen erweiterten Kontext gestellt wurde. Die Autoren haben auf Grundlage ihrer archäobotanischen und archäozoologischen Forschungen verschiedene Kalkulationen unter Verwendung eines Microsoft Excel-Datenblatts erstellt und Annahmen zu durchschnittlichen Getreideerträgen, vorhandener Arbeitskraft und Kalorienbedarf der Menschen integriert. Unter Verwendung dieses Modells wurden verschiedene Szenarien der Nahrungszusammensetzung erstellt und ihre Plausibilität diskutiert (Abb. 7). Die generellen Nahrungsbestandteile sind dabei bekannt und umfassen Getreide und in geringerem Ausmaß auch andere Kulturpflanzen, Wildpflanzen, Fleisch von Wild- und Haustieren (von letzteren evtl. auch Milch) sowie Fisch. Jedoch ging es den Autoren im Wesentlichen um die absolute Bedeutung der einzelnen Kategorien.

Letztlich wurde das untere der in Abb. 7 gezeigte Modell als das wahrscheinlichste identifiziert; dabei wird etwas mehr als die Hälfte der erforderlichen Kalorien der Bewohner der Siedlung durch Getreide

gedeckt, während durch Sammelpflanzen (darunter Haselnüsse mit der bei weitem größten Bedeutung) etwa ein weiteres Fünftel abgedeckt wird. Je ein knappes Zehntel des Kalorienbedarfs wird durch den Verzehr von Fisch, Wildtierfleisch und Haustierfleisch erzielt. Eine der Stärken des Modells ist, dass es die relative Auswirkung der Veränderung einzelner Parameter deutlich machen kann. So berechnen die Autoren den Effekt eines Anstiegs der angenommenen mittleren Getreideerträge von 600 auf 700 kg/ha, der einer Erhöhung des Getreide-Kalorienanteils um 10% entspricht. Gleichermaßen wirkt sich die Annahme einer höheren Verfügbarkeit menschlicher Arbeitskraft durch eine dann größere bearbeitbare Feldfläche von 9 ha statt 6 ha in einer Dimension von nochmals 20% aus. Daraus wird ersichtlich, dass die Berechnungen sehr stark von den Annahmen des Getreideertrages sowie der verfügbaren bzw. investierten Arbeitskraft abhängen. Diesen Zusammenhängen wird in der vorliegenden Arbeit nachgegangen.

Hosch und Jacomet (2004, S. 144) betonen, dass Getreide bei weitem nicht die einzige (wenn auch wahrscheinlich meistens die wichtigste) Quelle für Kalorien aus Kulturpflanzen war und berechnen aufgrund ihrer archäobotanischen Untersuchungen für die Siedlung Arbon-Bleich 3 (3385-3369 v. Chr.) ein Verhältnis der pflanzlichen Nahrungsbestandteile Getreide:Lein und Schlafmohn:Wildpflanzen von 46:30:24. Deschler-Erb und Marti-Grädel (2004, S. 239) berechnen für dieselbe Siedlung anhand ihrer archäozoologischen Untersuchungen eine Bedeutung des Verzehrs von Fleisch in Höhe von nur 5%, wodurch aber der Proteinbedarf bereits zu 100% gedeckt wäre.

Dass jedoch die Angabe definierter Anteile der Nahrungszusammensetzung letztlich nur eine Momentaufnahme darstellen kann, die im besten Fall den Mittelwert der tatsächlich auf Jahresebene in unterschiedlichen Siedlungen realisierten Bedingungen darstellt, wird z.B. durch die Publikation von Schibler und Jacomet (2010) deutlich. Darin postulieren die Autoren wie sich (z.B. klimatisch bedingte) Schwankungen der Getreideerträge auf den Anteil gejagter Tiere und gesammelter Pflanzen im Nahrungsspektrum auswirken (wobei für die Sammelpflanzen bei dieser Beweisführung große methodische Schwierigkeiten vorliegen). Diese These kann auch anhand einzelner, archäologisch dokumentierter Befunde gestützt werden, wie etwa durch den Nachweis einer regelrechten Schicht aus Haselnusschalen, welche in direkter zeitlicher Abfolge auf den Siedlungsbrand der Siedlung Hornstaad-Hörnle 1A abgelagert wurde (Maier et al. 2001, S. 127).

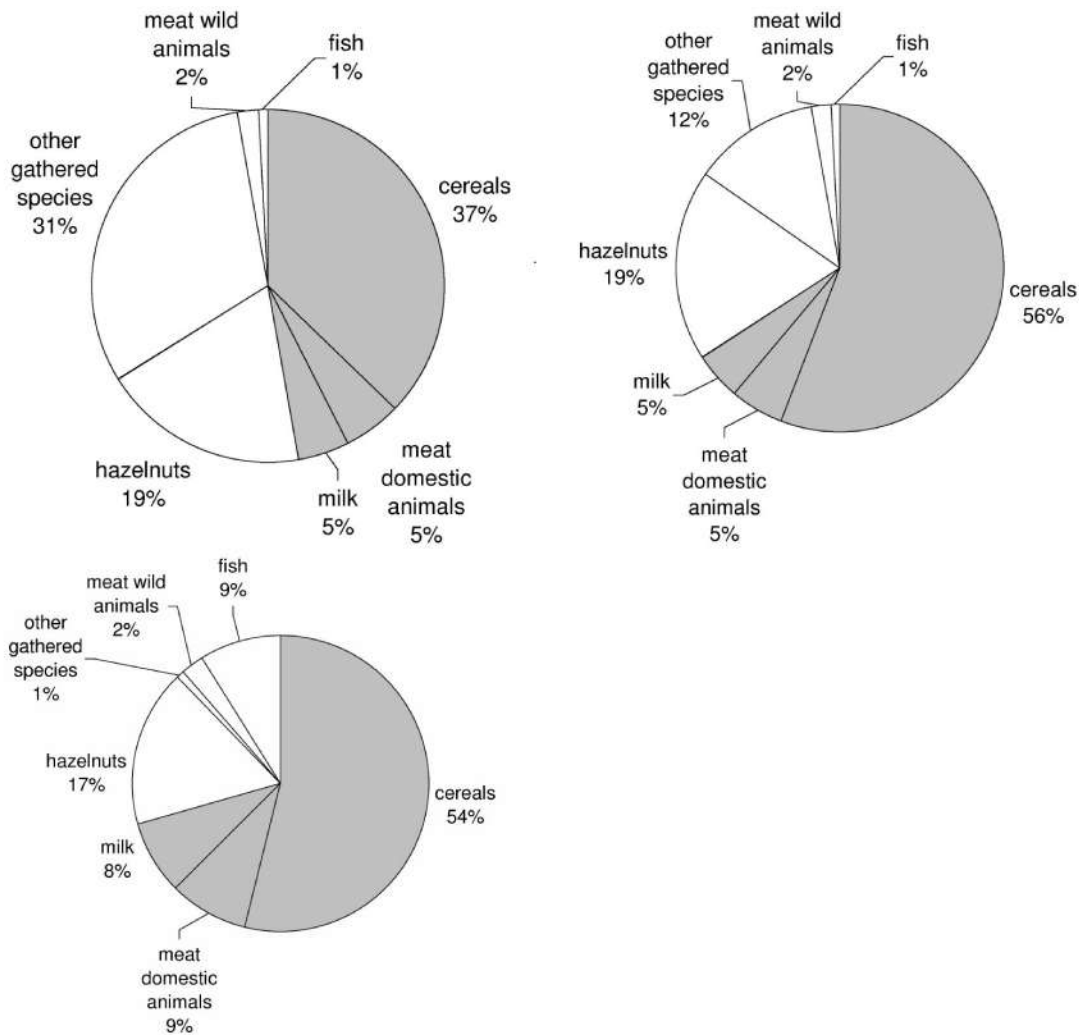


Abb. 7 Modelle der Nahrungszusammensetzung eines jungneolithischen Dorfes am Zürichsee unter Integration des archäobiologischen Datenbestandes. Nach Ebersbach (2003) und Gross et al. (1990)

## 5.5 Waldnutzung und Holzgewinnung

Die Bauhölzer der Siedlungen sind einer der wesentlichen Untersuchungsgegenstände der Feuchtbodenarchäologie. Bedingt durch den z.T. relativ guten Erhaltungszustand vieler Pfähle und „liegender Hölzer“ (in der Grabungsdokumentation jedes horizontal aufgefundene Holz einer bestimmten Größe) können Aussagen nicht nur zur Holzart, Wachstumsbeginn und dem Alter des Baumes bei Fällung gemacht werden, sondern auch zu Einflüssen während des Wachstums des entsprechenden Baumes. Dieser dendroökologische Ansatz erlaubt die Beschreibung der ökologischen Bedingungen in den Wäldern, welche für die Bauholzversorgung der Siedler genutzt wurden (Billamboz 2011).

Billamboz konnte auf Grundlage dieser Methode Nutzungsmuster sowie Grad und Art der anthropogenen Überprägung in den Waldtypen definieren, die sich typischerweise im Kontext der Feuchtbodensiedlungen am westlichen Bodensee herausgebildet haben (Billamboz 2014; Billamboz und Königinger 2008). Neben der Herkunft der Bauhölzer aus weitgehend vom Menschen unbeeinflusst aufgewachsenem Wald kann Billamboz eine niederwaldartige/stockwaldartige sowie eine mittelwaldartige Bewirtschaftungsform ausmachen. Darüber hinaus kann er auch Belege für die Nutzung stark ausgelichteter Bestände vorlegen, deren Baumbestand vermutlich aufgrund von länger andauernder menschlicher Landnutzung bereits stark degradiert war. Bleicher (2009, S. 162) erkennt hoch diffe-

renzierte Nutzungsformen in Feuchtbodensiedlungen am Federsee: So kann er eine große Bedeutung speziell der Esche für die Siedler der Goldberg-III-Gruppe ausmachen, indem sie deren Laub in großem Ausmaß für die Laubheufütterung und nicht als Bauholz verwendeten – ganz im Gegensatz zu den Bewohnern der Siedlung Torwiesen 2 (3283-3270 v. Chr.), wo er viele Hinweise auf die Nutzung von Bauholz aus Stockausschlägen insbesondere der Esche ausmachen kann (siehe dazu auch Million und Billamboz 2015). Er untersucht auch den Flächenbedarf für die Gewinnung des zum Bau der 9 Häuser der Siedlung Seekirch-Stockwiesen (um 2900 v. Chr.) erforderlichen Bauholzes, und berechnet diesen auf mindestens 1 ha (Bleicher 2009, S. 96). Einen Versuch der Quantifizierung des gesamten Holzbedarfs für die Siedlung Hornstaad-Hörnle 1A unternimmt Rösch (1994) und gibt diesen mit 15 Festmetern pro Jahr und Haus für alle Nutzungsarten – Bau- und Brennholz sowie weitere – an.

Großes Potential liegt auch in der Erforschung des Zusammenhangs von Waldwachstum und Besiedlungsdynamik auf Landschaftsebene. Bleicher (2009) diskutiert anhand der Siedlung Torwiesen 2 zwei unterschiedliche Modelle dazu. Im einen Fall würde die Siedlung für nur 5 Jahre bewohnt, nach deren Ablauf die Nutzung der dazugehörigen Wirtschaftsflächen für die Dauer einiger Jahre ebenfalls unterbrochen würde. Im anderen Fall wären die Wirtschaftsflächen für 10 Jahre genutzt worden, und die Siedlung nach dieser Periode in räumlicher Nähe wieder errichtet worden. Billamboz (2014, S. 1285) nimmt ebenfalls an, dass die menschlichen Siedlungssysteme eng an die genutzten Waldbestände gekoppelt waren, und dass deren Dynamik daher eine wichtige Rolle für die Lebensrealität der Bewohner der Feuchtbodensiedlungen gespielt hat. Er schlägt ein Modell vor, in dem die „Pfahlbausiedlungen ein Element in einem Besiedlungssystem darstellten, welches durch wiederholte Ortswechsel um eine von natürlicher Dynamik dominierte mosaikartige Landschaft herum geprägt war und durch diese determiniert wurde“ (eigene Übersetzung).

Aus diesen zwei Beispielen wird ersichtlich, dass die Bauholzversorgung eine sehr wichtige Größe im Leben der Siedler darstellte und dass ein Erkenntnisfortschritt über die zugrunde liegenden Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten ein deutlich besseres Verständnis des gesamten Systems der Feuchtbodensiedlungen bewirken kann. Noch relativ wenig diskutiert sind dagegen die Erfordernisse und Auswirkungen der Brennholznutzung in den Siedlungen, was in Kap. 8 aufgegriffen wird.

## **Teil II: Neue Modelle der Landnutzung**

### **6 Simulation prähistorischer Getreideerträge**

#### **6.1 Hintergrund**

Die generellen Merkmale des jung-, spät- und endneolithischen Getreideanbaus im Untersuchungsgebiet sind in Kap. 5.2.2 beschrieben. Dort werden auch die verschiedenen, sich teilweise widersprechenden Hypothesen zu den entsprechenden Anbauverfahren vorgestellt. In Kap. 7 wird das Simulationsmodell WELASSIMO\_feldbau verwendet, um die sozio-ökologischen Auswirkungen der Anbauverfahren zu untersuchen. Für dieses Modell sind gut begründete Annahmen zur Höhe der neolithischen Erträge, sowie zu den Auswirkungen verschiedener natürlicher und anthropogener Anbaufaktoren erforderlich. Über die Ertragsleistung der für die Seeufersiedlungen dokumentierten Sorten sowie über potenzielle Erträge pro Hektar können anhand der archäologischen Funde keine sicheren Aussagen gemacht werden. Daher wurden häufig Mittelwerte verwendet, die auf mittelalterliche oder neuzeitliche Analogien zurückgriffen (Tab. 3; siehe auch Zusammenstellung in Kerig 2007, S. 376). Problematisch an der Verwendung dieser Analogien ist, dass sich die mittelalterlichen und ins-

besondere die neuzeitlichen Ertragsleistungen vermutlich von den neolithischen deutlich unterscheiden. Zum einen war das Sortenspektrum während der genannten Phasen ein anderes: Während im Jung- bis Endneolithikum Emmer, Einkorn, Nacktweizen und Gerste dominierten (mit schwankender Bedeutung der einzelnen Arten, siehe Kap. 4), waren im Mittelalter (ab ca. 800 n. Chr.) besonders Roggen, Dinkel, Hafer und Gerste, untergeordnet und lokal auch Einkorn und Hirse von Bedeutung (Jacomet 2014 S. 92). Zum zweiten waren die Böden im Mittelalter bereits seit mehreren tausend Jahren – wenn auch mit unterschiedlicher Intensität – für den Nutzpflanzenanbau verwendet worden, so dass die Bodenfruchtbarkeit infolge von Erosion und Nährstoffexport aller Wahrscheinlichkeit nach geringer war als während der Frühzeit des Getreideanbaus.

Drittens wurde im Mittelalter die Dreifelderwirtschaft mit Pflugnutzung, Fruchtwechsel und Düngeneinsatz als dominierendes Anbauverfahren praktiziert (z.B. van Bath 1963; Abel 1978), während für das Jung- bis Endneolithikum die Hypothesen des Brandfeldbaus und des gartenähnlichen Feldbaus diskutiert werden (siehe Kap. 5.2.2). Auch aufgrund einer anderen Sozialstruktur während der genannten Phasen ergeben sich deutliche Unterschiede (z.B. Kerig 2007, S. 380). Daraus lässt sich ableiten, dass die Verwendung der genannten Analogien höchstens eine grobe Annäherung darstellen kann. Ein weiteres Manko bisheriger Rekonstruktionsversuche prähistorischen Getreideanbaus ist die fehlende Berücksichtigung von jährlichen, vornehmlich wetterbedingten Ertragsschwankungen. Mit anderen Worten: Die Dynamik der Getreideanbaus ist nicht berücksichtigt. Diese ist dem System jedoch immanent und hat für ein Verständnis der prähistorischen Lebenswirklichkeiten eine große Bedeutung. Auch die Auswirkungen allmählich nachlassender Bodenfruchtbarkeit auf die Erträge haben gerade auf ein hoch dynamisches System, wie es für die Feuchtbodensiedlungen diskutiert wird, eine große Auswirkung.

Während die Bezugnahme auf Mittelwerte aus der Agrargeschichte durch eine u. U. geringe Präzision der Analogien mit Problemen behaftet ist, können archäologische Anbauversuche durchaus interessante Einblicke in verschiedene Aspekte des prähistorischen Getreidebaus liefern. Solche Experimente wurden beispielsweise im Draved Forest (Steensberg 1957), im Hambacher Forst (Lüning et al. 1980), auf der Butser Ancient Farm (Reynolds 1992) und in Forchtenberg (Ehrmann et al. 2014, 2009; Rösch et al. 2002) durchgeführt. In Tab. 3 ist eine tabellarische Übersicht über Ergebnisse aus Anbauexperimenten sowie in Modellen verwendete Schätzwerte von Getreideerträgen dargestellt (nach Bogaard 2004, S.22). Eine Einschätzung der Bedeutung dieser Forschungen ist bei Louwagie und Langohr (2005) zu finden; Rasmussen et al. (1998) stellen die Bedeutung langfristiger Anbauexperimente im Allgemeinen dar. Solche Anbauexperimente haben jedoch den Nachteil, dass Ergebnisse nur unter erheblichen zeitlichen und finanziellen Aufwendungen erzielt und die meisten Wachstumsparameter nur in engen Grenzen variiert werden können.

Aus den genannten Gründen ist es naheliegend, für die Erstellung eines geeigneten Datensatzes auf ein modernes agrarökologisches Ertragsmodell zurückzugreifen. Solche Modelle simulieren die wesentlichen physiologischen Prozesse des Getreidewachstums und errechnen die Erträge unter Annahme bestimmten Szenarien (z.B. Rötter et al. 2012; Salo et al. 2016). Dafür integrieren sie die wichtigsten ertragsbildenden Faktoren: die genetischen Eigenschaften der Pflanzen, die Bodeneigenschaften, das Anbauverfahren und die meteorologischen Bedingungen (z.B. Diacono et al. 2012; Casa und Castrignano 2008). Kenntnisse der genauen Sorteneigenschaften und -Anforderungen ebenso wie tagesgenaue Informationen über die Wetterbedingungen und die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Böden sind als Eingangsdatensätze erforderlich. Für heutige Bedingungen wird dieses Verfahren aufgrund guter Datenlage mit hoher Vorhersagegenauigkeit eingesetzt (z.B. Rötter et al. 2012; Asseng et al. 2013). In der vorliegenden Untersuchung wurde für diesen Zweck auf ein publiziertes Agro-Ökosystemmodell („MONICA“, MOdel of Nitrogen and CARbon in agro-ecosystems, Nen-



del et al. 2011) zurückgegriffen, dessen Verfasser mir für die Datenerstellung vielfältige Unterstützung gewährt hat.

Tab. 3: Beispiele für experimentell ermittelte sowie (grau unterlegt) historisch belegte Getreideerträge im Brandfeldbau und im permanenten Feldbau und in verschiedenen Arbeiten verwendete Schätzwerte. Verändert nach Bogaard (2004)

	Quelle	Ertrag (kg/ha)	
Brandfeldbau	Steensberg 1979	+/- no return	
	Reynolds 1992	1900-1600	
	Ehrmann et al. 2014	Weizen (Parabraunerde)	5500
		Weizen (Pseudogley)	1800
Emmer (errechnet nach Tab.3)		1530-4675	
Soininen 1959	Aussaat:Ertrag 1:20-1:100		
Permanenter Feldbau	Russel and Voelcker 1936	Weizen ohne Düngung	480-1630 (820)
		Weizen gedüngt	840-2750 (1640)
		Gerste ungedüngt	114-1950 (930)
		Gerste gedüngt	1100-3560(2150)
	Poulton 2006	Gerste ungedüngt	450-1500 (928)
		Gerste gedüngt	1880-3510 (2960)
		Weizen, 1J Brache, ungedüngt	800-2380 (1410)
	Reynolds 1992	Weizen, 1J Brache, gedüngt	1870-3550 (2840)
		Emmer ungedüngt	360-3030 (1650)
		Dinkel ungedüngt	760-2610 (1490)
	Schott 1936	Emmer ungedüngt, 1J Bohnen altern	780-3110 (2080)
Waldfeldbau v. Siedlern, Kanada		1500-3400 Jahr 1	
Henning 1994		Europa, 850-1150 n. Chr.	450-550
Lüning 1980		Europa, MA, 18. Jhdt.	900
Gregg 1988		Europa, frühe Neuzeit	650-1050 (800)
Schätzungen prähist. Anbau	Halsted 1987	800-1000	
	Bakels 1982	800	
	Jacomet et al. 1989	600	
	Gros et al. 1990	650	
	Halsted 1995	1000	

## 6.2 Fragestellung

Für die unter Kap. 7 vorgestellte Simulation verschiedener Hypothesen jung- bis endneolithischen Getreidebaus sind die Mittelwerte und die wetterbedingte Variabilität der Erträge unter Annahme verschiedener Nährstoffverfügbarkeiten, die Rate der langfristigen Abnahme der Erträge aufgrund nachlassender Bodenfruchtbarkeit, sowie die Auswirkung von Klimaschwankungen und unterschiedlichen Bodeneigenschaften von besonderer Bedeutung. Für die Generierung von entsprechenden Datensätzen sind verschiedene Informationen erforderlich, die im folgenden Kapitel kurz dargestellt werden. Die folgenden Fragestellungen stehen im Mittelpunkt der Simulation:

- 1) Wie haben sich die unterschiedlichen Anbauverfahren: Anbau ohne Düngung, Anbau mit Mistdüngung und Anbau mit Brandverfahren auf den prähistorischen Getreideertrag ausgewirkt?
- 2) Wie ist der Effekt von Brachen oder alternierendem Anbau mit Hülsenfrüchten zu bewerten?
- 3) Wie hoch waren die Schwankungen der Getreideerträge zwischen einzelnen Jahren?
- 4) Wie hoch war der Effekt nachlassender Bodenfruchtbarkeit auf die Erträge?
- 5) Wie wirkten sich unterschiedliche Bodeneigenschaften auf die Erträge aus?
- 6) Wie wirkten sich unterschiedliche klimatische Bedingungen auf die Erträge aus?

Die Beantwortung von Frage Nummer zwei wird nicht durch Simulation, sondern durch die Verwendung von Literaturangaben verfolgt.

## 6.3 Beschreibung des Modells

### 6.3.1 Methode der Ertragssimulation mit MONICA

Die Simulation von Getreideerträgen wird unter Verwendung eines etablierten und publizierten Ertragsbildungsmodells für Kulturpflanzen durchgeführt. Das Modell MONICA ist ein dynamisches und mechanistisches Simulationsmodell für biophysikalische Prozesse in Pflanze und Boden. Sein Zweck liegt in der Simulation von Wachstum und Entwicklung von Kulturpflanzenerträgen in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren (Wetter, Bodeneigenschaften, Atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration, Nährstoff- und Wasserversorgung). Seine Gültigkeit konnte in mehreren Projekten durch Vergleich mit Ergebnissen aus Anbauexperimenten getestet werden (Asseng et al. 2013; Nendel et al. 2011; Salo et al. 2016, Specka et al. 2016).

Auch zur Simulation von Ernteerträgen unter Szenarien des Klimawandels konnte es erfolgreich eingesetzt werden (Nendel et al. 2014; Asseng et al. 2015). Für den Zweck einer Rekonstruktion prähistorischer Getreideerträge eignet es sich, weil die simulierten Erträge klar durch die Eingangsparameter der zu simulierenden Pflanze sowie durch die Umweltbedingungen bestimmt werden. Eine Reihe an Daten sind erforderlich, um die Simulation zu ermöglichen. Zunächst müssen physiologische Daten der betreffenden Pflanze sowie das maximale Ertragspotenzial unter optimalen Bedingungen bekannt sein. Darüber hinaus muss ein synthetischer, d.h. künstlicher Wetterdatensatz erzeugt werden, der den vermuteten prähistorischen Bedingungen so weit wie möglich ähnelt, und Angaben über den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre sowie die vermutlichen physisch-chemischen Bedingungen des Bodens gemacht werden. Schließlich können noch verschiedene Szenarien der Düngegabe definiert werden, um unterschiedliche Getreideanbauverfahren zu simulieren. Auf eine detaillierte Beschreibung des Modells und seiner Funktionsweise wird hier verzichtet, stattdessen wird dafür auf die Publikation des Modells verwiesen (Nendel et al. 2011).

### 6.3.2 Das maximale Ertragspotenzial der simulierten Getreideart unter idealen Bedingungen

Wie unter Kap. 5.2.1 ausgeführt, umfasst das Getreidespektrum in den Feuchtbodensiedlungen zwischen 4000-2400 v. Chr. tetraploiden Nacktweizen (*Triticum durum Desf./turgidum L.*), Gerste (*Hordeum vulgare L.*), Einkorn (*Triticum monococcum L.*) und Emmer (*Triticum dicoccum* SCHRANK) (Jacomet 2014). Wir haben uns entschieden, Emmer als Untersuchungspflanze zu verwenden, weil dieser auch heute noch kaum durch moderne Pflanzenzüchtungen verändert wurde – ganz im Gegensatz zu den vier wirtschaftlich bedeutenderen Getreidesorten Weizen, Gerste, Mais und Roggen, deren Erträge sich durch züchterische Maßnahmen in den vergangenen 150 Jahren um das 5-fache gesteigert haben (Miedaner und Longin 2012, S.7; Schuster 1997).

Daher kann angenommen werden, dass die Eigenschaften heutiger Emmervarietäten den neolithischen zumindest wesentlich ähnlicher waren, als es für Gerste und Nacktweizen der Fall ist. Gegenüber dem Einkorn haben wir den Emmer insofern bevorzugt, als er eine etwas größere Bedeutung während des Untersuchungszeitraumes innehatte (Jacomet 2014 S. 86). Aufgrund eines neuen Interesses an dieser lange nicht beachteten Getreidesorte ist sie in den letzten Jahren Gegenstand von Forschungen geworden. Nach Miedaner und Longin (2012, S. 23) beträgt die maximale Ertragsleistung (unter Freilandbedingungen) etwa 4000 kg/ha an reinem Kornertrag. Emmer ist ein Spelzgetreide ist, daher müssen von dem eigentlichen Ertrag von 6000 kg/ha noch das Gewicht der Spelzen oder Spindelglieder abgezogen werden, welches etwa ein Drittel des Gesamtgewichtes ausmacht. MONICA wurde auf dieses Ertragsniveau hin kalibriert.

### 6.3.3 Wetterdatensatz mit tagesgenauer Auflösung

Wie durch aktuelle paläoklimatologische Forschungen gezeigt werden kann, wichen die generellen klimatischen Eigenschaften während des Untersuchungszeitraumes nicht stark von den heutigen Bedingungen ab (Marcott et al. 2013; Mauri et al. 2015; Renssen et al. 2009; siehe dazu auch Kap.3.3). Leider haben entsprechende Forschungen entweder eine zu grobe räumliche und zeitliche Auflösung um direkt für unser Projekt verwendet werden zu können (z.B. Mauri et al. 2015), oder die rekonstruierten Wetterparameter stellen lediglich eine kleine Teilmenge aus den erforderlichen Daten dar (Nicolussi et al. 2009; Ilyashuk et al. 2011). Aus dem Grund haben wir uns entschieden, drei synthetische Wetterszenarien zu verwenden: heutige Bedingungen, kälter und nasser ( $-2^{\circ}\text{C}$  und  $+20\%$  Jahresniederschlag), und wärmer und trockener ( $+2^{\circ}\text{C}$  und  $-20\%$  Jahresniederschlag).

Für diesen Zweck wurde der stochastische Wettergenerator CLIMGEN verwendet (Stöckle et al. 2001). Mit dessen Hilfe wurde ein existierender Wetterdatensatz von tagesgenauen Messungen mit einem Umfang von 30 Jahren analysiert (Wetterstation Güttingen, Periode 1980-2010, ©MeteoSwiss). Auf dieser Grundlage wurden dann synthetische Wetterdatensätze mit der gleichen statistischen Verteilungen von Temperaturmittelwerten, -maxima, -minima, Niederschlägen, relativer Luftfeuchte und der Globalstrahlung generiert. In Abb. 8 sind 6 Klimadiagramme gezeigt, deren erstes (Güttingen 1980-2010) die Klimabedingungen des Ausgangsdatensatzes zeigt. Die drei Diagramme 2), 3) und 4) zeigen simulierte Wetterdatensätze des jeweils ersten von 100 simulierten Jahren unter rezenten, kalt-feuchten bzw. warm/trockenen Bedingungen. Die letzten zwei Diagramme zeigen Jahre besonders hoher (5) bzw. besonders geringer (6) Erträge; siehe unten.



Abb. 8: Klimadiagramme des Datensatzes Göttingen (oben links) und von fünf mit dem Wettergenerator ClimGen simulierten Klima-Datensätzen unter unterschiedlichen Klimaszenarien

### 6.3.4 Chemische und physikalische Bodeneigenschaften

Bezüglich der Bodeneigenschaften während des Neolithikums liegen wenige detaillierte Angaben vor; siehe dazu Kap. 3. In Ermangelung besserer Möglichkeiten wurde hier ein heutiges Bodenprofil als Modellboden für unsere Untersuchung verwendet (Zimmermann et al. 2006, M 17 Profil Ermatigen). Es handelt sich dabei um eine schwach pseudovergleyte Parabraunerde (Luvisol nach internationaler FAO-Klassifizierung, Bodenart im Oberboden schwach sandiger Lehm) unter einem Waldsimen-Buchenwald. Das Ausgangssubstrat, eine würmzeitliche Moränenauflage auf Süßwassermolasse, ist im nördlichen Alpenvorland recht häufig, und somit kann auch der Bodentyp als typisch für diese Region gelten. Gleichzeitig stellen Parabraunerden die fruchtbarsten Anbauflächen in dem Gebiet dar, und wurden wohl auch im Jungneolithikum bevorzugt kultiviert (siehe dazu auch Vogt 2001). Verschiedene Bodentypen wie Parabraunerde, Gley oder Tschernosem sind durch unterschiedliche chemische und physikalische Parameter charakterisiert. Die Korngröße ist dabei neben der Art und Struktur von Tonmineralen und Humuskomplexen oder dem pH-Wert nur einer von zahlreichen Bo-

denfaktoren, die sich auf den Ertrag auswirken (z.B. Diacono et al. 2012; Casa und Castrignano 2008). Mit MONICA kann jedoch nur die Auswirkung des Faktors Korngrößenverteilung simuliert werden; die detaillierte Simulation verschiedener Kombinationen an Bodeneigenschaften, oder eben der unterschiedlichen Bodentypen, ist mit dem Modell leider nicht möglich. Um dennoch hier verschiedene Szenarien vergleichen zu können, wurden neben dem Modellboden zwei weitere Varianten gerechnet, die sich von der genannten Parabraunerde „M17“ durch einen höheren Sandgehalt bzw. durch einen höheren Schluffgehalt im Oberboden unterscheiden.

### 6.3.5 Quantifizierung der Düngergaben in den Anbauverfahren

Der bedeutendste Pflanzennährstoff, der sowohl durch die Aufbringung von Haustierdung als auch durch die Anwendung eines Brandverfahrens stark erhöht wird, ist Stickstoff (N) (Tassiopoulos 1977 S. 100). Um den Effekt der Stickstoffgabe zu simulieren, haben wir 3 verschiedene Szenarien erstellt: Anbau ohne weitere N-Zufuhr, jährliche Aufbringung von 10 t Kuhmist pro Hektar (was als minimale Menge angegeben wird um eine angemessene Erhöhung der Ernten zu bewirken; siehe Bogaard 2012; Dalzell et al. 1987; Bishop 1990) und eine jährliche Gabe von 0,18 t reinem Stickstoff pro Hektar. Dies simuliert die extrem hohe Stickstoffverfügbarkeit im ersten Jahr nach dem Brand; ähnliche Werte von 0,11 t/ha konnten experimentell ermittelt werden (Ehrmann 2009, S. 60). Die Menge von 10 t Stallmist entsprechen im ersten Jahr einer Stickstoffgabe von etwa 10-12 kg pflanzenverfügbaren Stickstoff, während sich die Abgabe in den folgenden Jahren stark verringert (StMELF 2016).

### 6.3.6 Die Definition von Versuchen für die Ertragssimulation

Unter Verwendung der genannten Informationen wurden ein Standardversuch (V1) und sechs Testversuche (V2-V7) erstellt, um den Effekt der Veränderung jeweils eines bestimmten Parameters zu untersuchen (siehe Tab. 4). Alle Versuche wurden für eine Periode von 100 Jahren gerechnet, wobei in V1-V6 jährlich dieselben Flächen kultiviert werden, in V7 dagegen die Flächen jährlich gewechselt werden, um Shifting Cultivation zu simulieren. In allen Versuchen wurde der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre von derzeit annähernd 400 ppm auf den Wert von 270 ppm reduziert, um die Bedingungen im Untersuchungszeitraum abzubilden ([www.esrl.noaa.gov](http://www.esrl.noaa.gov); Joos et al. 2004). V1 errechnet Emmererträge auf dem Bodentyp M17 ohne Einsatz von Dünger unter heutigen klimatischen Bedingungen. In V2 werden die gleichen Parameter verwendet, lediglich das Klima ist um 20% feuchter und um 2° C kälter. V3 ist wie V2, nur ist das Klima um 20% trockener und um 2° C wärmer. In V4 und V5 sind die Bedingungen von V1 angewendet, lediglich die Bodenart (= Korngröße) des Oberbodens wird verändert: In V1 wird der in M17 beschriebene sandige Lehm verwendet, in V4 ist der Boden stärker schluffbetont, in V5 stärker sandbetont. In V6 und V7 variiert die Stickstoffgabe: In V1 wird nicht gedüngt, in V6 werden 10 t Mist/ha und Jahr aufgebracht, und in V7 wird eine Gabe von 0,18 t N/ha/Jahr angenommen.

Tab. 4: Überblick über die Versuche der Getreideertragssimulation mit MONICA

Versuch	Klima	Boden	Düngung	Variierter Parameter
V1	Heutig	M17	Ohne	Standard
V2	Kälter, nasser	M17	Ohne	Klima
V3	Wärmer, trockener	M17	Ohne	Klima
V4	Heutig	Schluff	Ohne	Boden
V5	Heutig	Sand	Ohne	Boden
V6	Heutig	M17	Mist 10 t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	Düngung
V7	Heutig	M17	0,18 t N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	Düngung

#### 6.4 Ergebnisse und Diskussion der Getreideertragssimulation mit MONICA

In Abb. 9 - Abb. 11 sind die mit MONICA simulierten Emmererträge während einer Periode von 100 Jahren unter Verwendung der Versuche V1 - V7 dargestellt (siehe Tab. 4). Die mittlere Höhe der Erträge (abgebildet als logarithmische Funktion bzw. als Mittel der ersten zehn Jahre in den Boxplot-Darstellungen) wird am stärksten durch die Stickstoffverfügbarkeit limitiert (Abb. 9), während die klimatischen Bedingungen einen mäßigen, die Korngrößenverteilung des Oberbodens einen geringen Einfluss auf die Mittelwerte haben (Abb. 11 und Abb. 10). Die jährlichen Ertragsschwankungen um die Mittelwerte sind in erster Linie wetterbedingt, wobei jedoch die Stickstoffverfügbarkeit die relative Höhe der Schwankungen mitbestimmt.

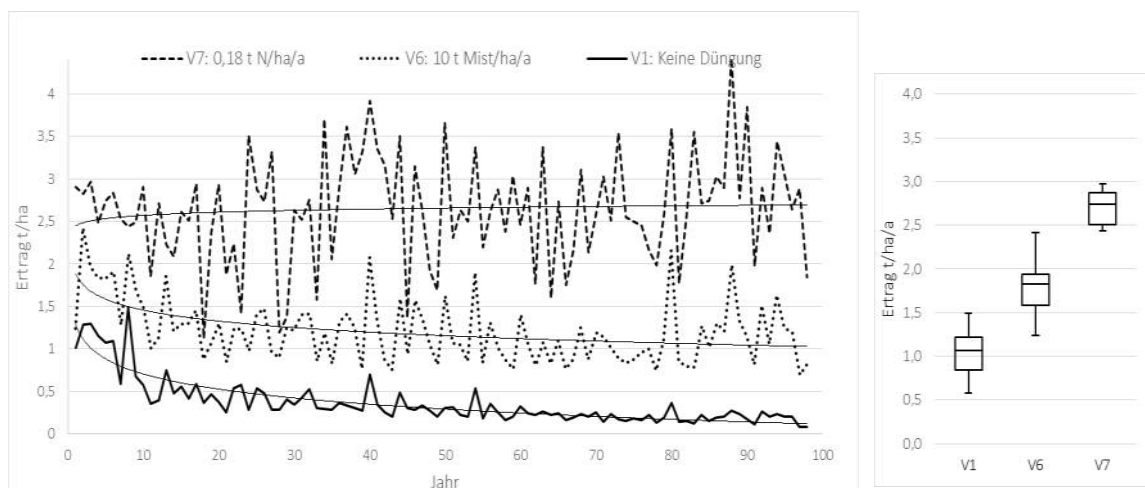


Abb. 9: Mit MONICA simulierte Getreideerträge unter Annahme von drei verschiedenen Anbauverfahren im Verlauf von 100 Jahren (links) und Boxplot-Darstellung der mittleren Erträge der ersten 10 Jahre (rechts)

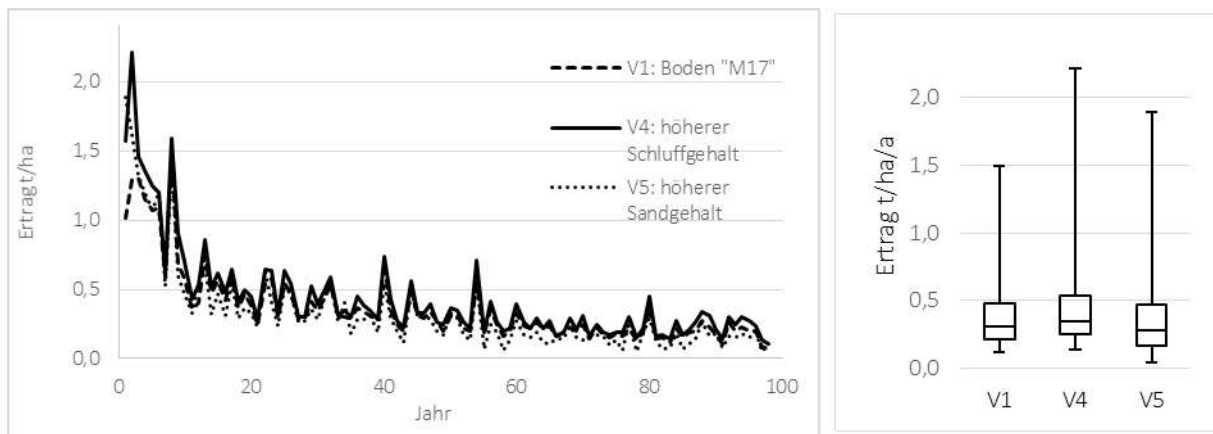


Abb. 10: Mit MONICA simulierte Getreideerträge unter Annahme von drei verschiedenen Korngrößen im Verlauf von 100 Jahren (links) und Boxplot-Darstellung der mittleren Erträge der gesamten 100 Jahre (rechts)

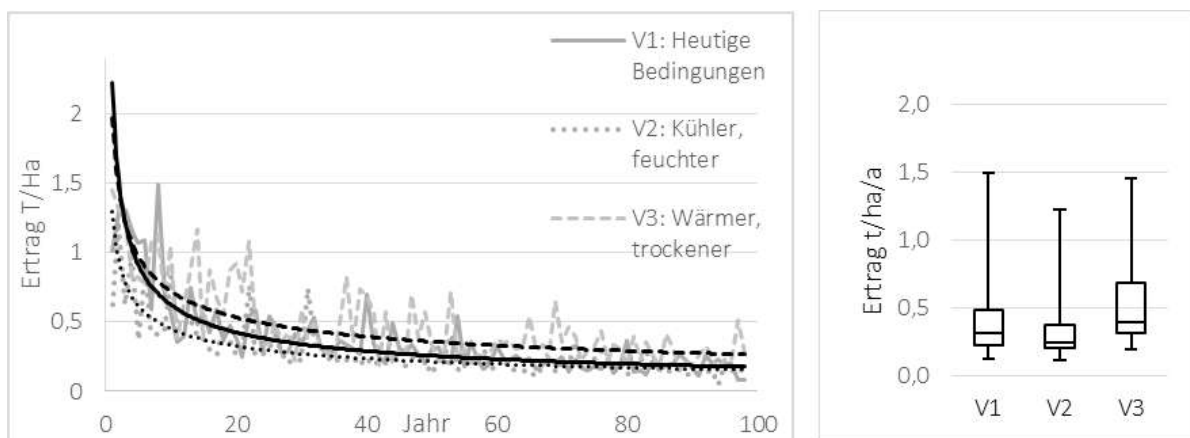


Abb. 11: Mit MONICA simulierte Getreideerträge unter Annahme von drei verschiedenen klimatischen Bedingungen im Verlauf von 100 Jahren (links) und Boxplot-Darstellung der mittleren Erträge der ersten 10 Jahre (rechts)

#### 6.4.1 Die Auswirkung der pflanzenverfügbaren Nährstoffe auf die mittleren Erträge

Der Vergleich der Erträge der Versuche V1, V6 und V7 in den ersten Jahren der Simulation (Abb. 9 und Tab. 5) ergibt, dass durch die genannten Düngemaßnahmen bei ansonsten gleichen Bedingungen zwei- bis dreifach höhere Erträge als auf den ungedüngten Flächen erreicht werden können. Während der ersten zehn Jahre der Simulation werden mittlere Erträge von 1,1 t/ha bei Anbau ohne Düngung (V1) erreicht, 1,7 t/ha bei einer Düngergabe von 10 t Mist/ha/a (V6), und 2,7 t/ha bei einer N-Gabe von 0,18 t/ha/a (V7). In der längerfristigen Betrachtung über die gesamten 100 Jahre wird der Unterschied zwischen den Versuchen sogar noch deutlicher sichtbar, weil sich der fortgesetzte Nährstoffexport auf den Flächen (durch die Entnahme der dort angebauten Feldfrüchte ohne Rückführung der Nährstoffe) stark auf die Höhe der Erträge auswirkt. In Abb. 12 ist die prozentuale Entwicklung der Erträge im Verlauf der simulierten 100 Jahre dargestellt; 100% entsprechen dem Mittelwert der ersten 5 Jahre des jeweiligen Verfahrens.

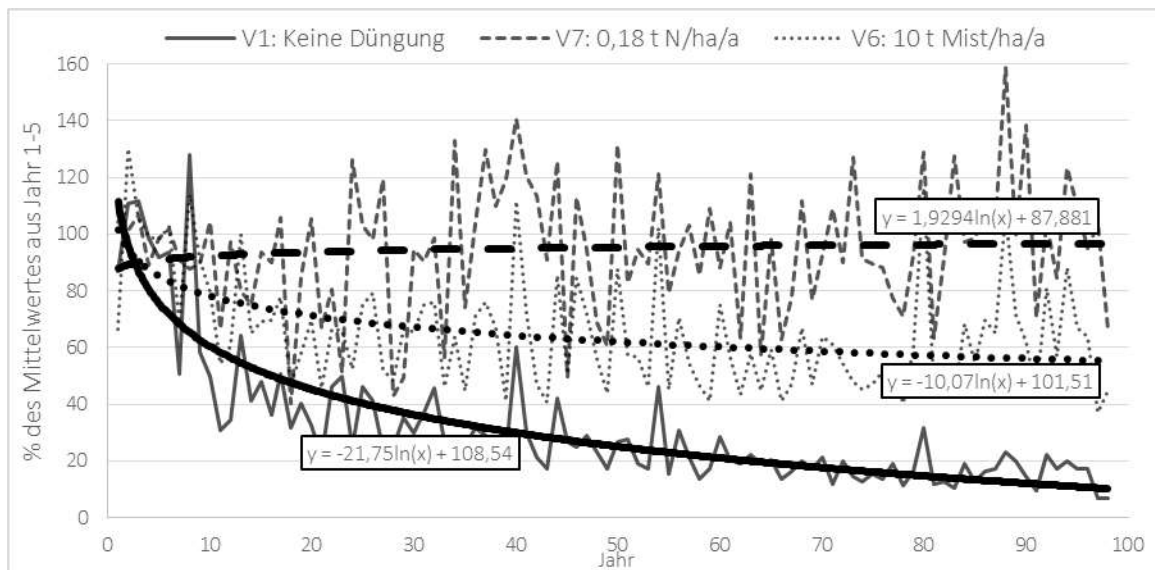


Abb. 12: Relative Entwicklung der simulierten Erträge im Verlauf von 100 Jahren unter Annahme der Anbauverfahren V1, V6 und V7. Die Trendlinien lassen sich als log-Funktionen beschreiben, die in den Kästchen neben den Kurven angegeben sind

Tab. 5: Trendbereinigter mittlerer Ertrag und prozentuale Standardabweichung der Jahreserträge vom trendbereinigten mittleren Ertrag bei den Versuchen V1, V6 und V7. Die Daten gehen als wesentliche Grundlage für die Berechnung der Erträge in das Modell WELASSIMO\_feldbau ein

Versuch	Trendbereinigter mittlerer Ertrag (kg/ha)	Standardabweichung
V1	1,07	30%
V6	1,91	27%
V7	2,64	23%

Für jede Kurve in Abb. 12 ist die Trendlinie als logarithmische Funktion dargestellt und die entsprechende Formel in einem Kästchen neben der Kurve angegeben. Bei V1 lautet diese wie in Formel 1 dargestellt.

$$y = -21,75\ln(x) + 108,54$$

Formel 1: Abnahme der Getreideerträge bei Anbau ohne Düngung (V1)

Sie gibt an, dass unter den beschriebenen Bedingungen nach 10 Jahren nur noch etwa 60% der ursprünglichen Getreideerträge erzielt werden. Nach 25 Jahren fällt die Rate auf 40% und nach 100 Jahren kontinuierlichen Anbaus ohne Düngung werden lediglich noch 10-15% erreicht.

Bei V6 kann die Abnahme durch die Funktion in Formel 2 beschrieben werden.

$$y = -10,07\ln(x) + 101,51$$

Formel 2: Abnahme der Getreideerträge bei Düngung mit 10 t Mist pro Hektar pro Jahr (V6)



Damit werden nach 10, 25 und 100 Jahren nur noch je 80%, 65% bzw. 55% der anfänglichen Erträge erzielt. In V7 bleiben die mittleren Erträge auf einem konstant hohen Niveau, weil die Nährstoffverfügbarkeit durch das Brandverfahren sehr hoch ist und zwischen zwei Anbauperioden immer eine Brachdauer von 8-15 Jahren angenommen wird; daher wird die Formel hier nicht behandelt.

Ohne den Einsatz von Dünger oder anderen ertragssteigernden Maßnahmen (wie z.B. Fruchtwechsel mit Leguminosen) scheint damit die permanente Kultivierung einer Fläche auf einer typischen Parabraunerde des nordwestlichen Alpenvorlandes über 10-15 Jahre hinaus mit großen Ertragseinbußen verbunden zu sein. Schon der Einsatz von 10 t Kuhdung pro Hektar und Jahr in V6 hat ein anderes Bild zur Folge: Zwar sinken auch hier die Erträge in den ersten 20 Jahren zunächst ab, aber dann erfolgt eine Plateaubildung auf etwas über einer Tonne pro Hektar. Wenn der Kuhmist als Ressource zielgerichtet gesammelt und eingesetzt und möglicherweise mit Laub und Zweigen gestreckt wird, werden allerdings 6-7 Rinder benötigt, um die genannte Dungmenge von 10 t für einen Hektar zu produzieren (nach Ebersbach 2002, S.152; siehe Tab. 6).

Davon nochmals deutlich verschieden zeigt sich die Situation unter Anwendung eines Brandverfahrens, welches durch V7 näherungsweise beschrieben wird. Die bereits anfänglich hohen Erträge sinken auch über einen langen Zeitraum nicht ab, sondern bleiben auf hohem Niveau. Dies erklärt sich durch die jährliche Verlegung der Felder und die Auswirkungen des Brandverfahrens, wodurch eine beschleunigte Mineralisierungsrate der organischen Bodensubstanz erreicht wird (Nye und Greenland 1961; Palm et al. 1996). Zudem werden durch die Holzasche weitere Nährstoffe zur Verfügung gestellt (Juo und Manu 1996).

Tab. 6: Zusammenhang zwischen der Anzahl Rinder und der Fläche, die jährlich mit einer bestimmten Menge gestrecktem Kuhmist gedüngt werden kann. Angaben nach Ebersbach (2002, S.152)

GVE	Dungmenge (kg/Jahr)	gestreckt	Fläche zu düngen (ha) bei Gabe von 10 t / ha	Fläche zu düngen (ha) bei Gabe von 20 t / ha
1	500	1500	0,15	0,075
5	2500	7500	0,75	0,375
10	5000	15000	1,5	0,75

#### 6.4.2 Die Auswirkung eines Fruchtwechsels mit Leguminosen auf die Höhe der Erträge

Zur Pflanzenfamilie der Leguminosen oder Hülsenfrüchtler gehören u.a. Erbsen und Linsen, deren Nutzung für das Neolithikum belegt ist (Antolin et al. 2016b, in Vorbereitung; Jacomet 2014 S. 86). Der Wert dieser Pflanzen ist nicht nur ein ernährungsphysiologischer aufgrund ihres hohen Eiweißgehalts, sondern liegt auch in ihrer Eigenschaft begründet, eine Wurzelsymbiose mit stickstofffixierenden Bakterien einzugehen. Da Stickstoff wohl der wichtigste wachstumsfördernde Pflanzennährstoff generell und auch für Getreidepflanzen ist, kann ein gemeinsamer oder zeitlich versetzter Anbau von Hülsenfrüchten und Getreide einen Düngeeffekt für das Getreide bewirken.

Das Potential zur N-Fixierung ist dabei erheblich: nach Freyer et al. (2005) können durch den Anbau von Linsen 80 kg N pro ha und Jahr gebunden werden, bei Erbsen sind es sogar 100 kg N pro ha und Jahr. Diese Daten entsprechen modernen agronomischen Wissensstand und sind in dieser Höhe sicher nicht für das Neolithikum anzunehmen. Dennoch ist ein Vergleich mit der Stickstoffmenge in den oben angenommen 10 t Stallmist pro ha interessant, denn diese enthalten „nur“ 50 kg Gesamtstickstoff, von denen wiederum nur 10-15 kg direkt pflanzenverfügbar sind (StMELF 2016). Selbst wenn man also nur 10-20% der maximal möglichen Stickstofffixierung durch Erbsen annimmt, ist der Effekt auf die Ertragsbildung des Getreides ähnlich hoch wie derjenige der Mistdüngung in V6. Wegen des großen Unsicherheitsbereiches über die Frage des Erbsenanbaus (siehe Antolin et al. 2016b;

Jacomet et al. 1989 S.167) wurde auf eine detaillierte Simulation der Erträge verzichtet; da aber der Anbau von Erbsen in den Seeufersiedlungen sicher belegt ist, ist eine Kenntnis und eventuelle Nutzung dieses ertragssteigernden Effektes doch als wahrscheinlich einzustufen.

### 6.4.3 Die Auswirkung von Brachen und deren Dauer auf die Höhe der Erträge

Die hier genannten Angaben sind keine Ergebnisse der Getreideertragssimulation, sondern aus der Literatur entnommen. Ein- oder mehrjährige Brachen haben den Zweck, den Nährstoffexport aufgrund von Kulturpflanzenanbau durch die natürlichen Prozesse der Stickstofffixierung und der Gesteinsverwitterung teilweise auszugleichen oder zu verlangsamen (z.B. Henning 1994 S. 87). Ein weiterer Vorteil einer Unterbrechung des Anbaus liegt in der geringeren Gefahr der Schädlingsausbreitung, wobei diese jedoch vermutlich während des Untersuchungszeitraumes noch keine größere Rolle gespielt haben dürfte (Dark und Gent 2001).

Der positive Effekt einer alternierenden Flächennutzung mit je einem Jahr Getreideanbau und einem Jahr Brache kann durch die Daten der Rothamsted Research Station belegt werden (Poulton 2006): Dort wurden durch das beschriebene Verfahren im Schnitt der Jahre 1856-1900 1,17 t/ha erzielt, während im gleichen Zeitraum durch kontinuierlichen Anbau nur 0,89 t/ha erreicht wurden, was einem Faktor von 1,33 entspricht (siehe Abb. 13). Eine längere Brachdauer mag diesen Effekt noch verstärken, bringt jedoch Nachteile wegen des zunehmenden Wachstums krautiger Pflanzen mit sich. Wird Brandfeldbau betrieben, so wächst während der Brachzeit die später zum Brand verwendete Biomasse nach. Im Allgemeinen wird für Brandfeldbausysteme von einer positiven Korrelation von Brachdauer mit der Höhe der Erträge ausgegangen.

Diese Annahme scheint zwar durch zahlreiche Studien belegt, allerdings konnten Mertz et al. (2008) plausibel darlegen, dass die reine Dauer der Brache eine wenig aussagekräftige Größe ist. Der Effekt anderer Faktoren wie Überflutung, Dürre oder tierischer wie pflanzlicher Schädlinge sei wesentlich stärker. Um im folgenden Kap. 7 zwei Systeme mit unterschiedlicher Brachdauer generalisierend zu vergleichen, gehe ich dennoch von einem positiven Zusammenhang von Brachdauer und Erträgen aus. Im Rahmen dieser Untersuchung verwende ich dabei eine Formel, die von Silva-Forsberg und Fearnside (1997) gefunden wurde. Die Autoren beschreiben damit den empirisch von Ihnen beobachteten Zusammenhang zwischen der Dauer von Brachzeiten und der Höhe der Maiserträge im traditionellen brasilianischen Caboclo-Anbauverfahren. In Ermangelung geeigneter vergleichbarer Untersuchungen für die gemäßigten Mittelbreiten verwende ich hier ganz bewusst diese Formel, obwohl die naturräumlichen Bedingungen im Amazonas sehr verschieden von denen im Untersuchungsgebiet sind. Die genannte Formel ist wie in Formel 3 genannt, wobei Y der Maisertrag in  $\text{kg/m}^2$  und X die Brachdauer ist.

$$Y = 0.0097X + 0.172$$

Formel 3: Zusammenhang zwischen Brachdauer und Maisertrag bei Shifting Cultivation brasilianischer Caboclo-Bauern (nach Silva-Forsberg und Fearnside 1997)

Gemäß dieser Formel hat die Halbierung der Brachzeit von 15 auf 8 Jahre eine Reduzierung des Ertrags von 100% auf 83% zur Folge. Der ertragssteigernde Effekt eines Brachjahres konnte auch durch die Broadbalk-Versuche der Rothamsted Research (Poulton 2006) belegt werden; siehe dazu Abb. 13.

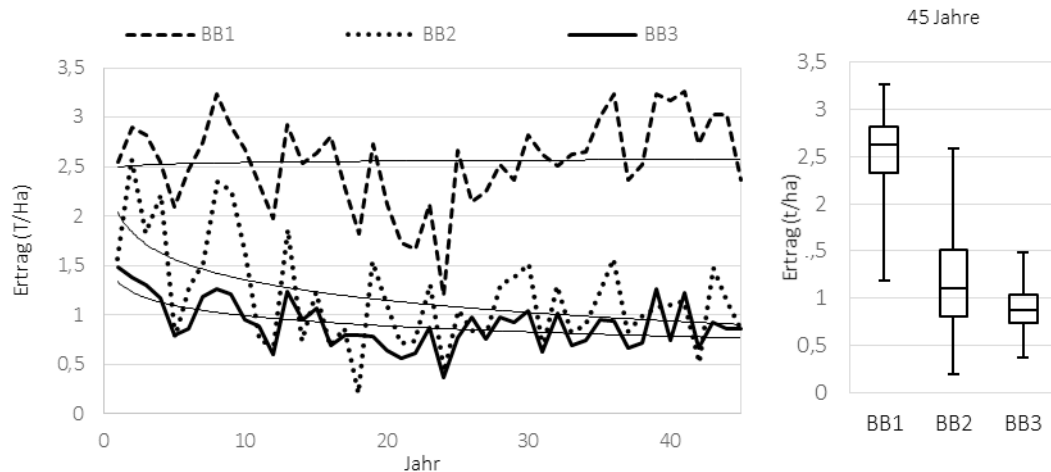


Abb. 13: Jährliche Erträge und Trendlinien für drei verschiedene Anbauverfahren, wie von Rothamsted Research (Poulton 2006) im Rahmen der „Broadbalk Experiments“ dokumentiert (links) und Boxplot-Darstellung der im Verlauf von 45 Jahren erzielten Erträge (rechts). BB1: permanenter Anbau, 35 t Mist/ha/Jahr. BB2: Keine Düngung, 1 Brachjahr. BB3: permanenter Anbau, keine Düngung

#### 6.4.4 Die Auswirkung der Korngröße des Bodens auf die Erträge

Wir haben für den gewählten Boden, die Parabraunerde am Profil Ermatingen (Zimmermann et al. 2006), verschiedene Varianten der Korngrößenverteilung in einer Tiefe bis 30 cm simuliert. In V1 ist dieser Horizont ein sandiger Lehm, in V4 stärker sandig und in S5 stärker schluffbetont. Der Unterschied der mittleren Erträge ist recht gering (siehe Abb. 10), aber der Vergleich der Boxplot - Darstellungen belegt doch eine positive Korrelation von Erträgen und Schluffgehalt im Oberboden. So betragen die durchschnittlichen Erträge bei V4 117% von V1, während die von V5 nur 92% betragen.

Die geringeren Erträge bei sandigeren Böden sind durch die verminderte Kapazität von Sand zum Speichern von Wasser und Nährstoffen erklärbar, wobei letztere insbesondere bei länger andauernder Feldnutzung zum Tragen kommt, weil dann die ohnehin knappen Nährstoffe weiter reduziert werden. In den ersten Jahren des Anbaus nach der initialen Flächenöffnung hingegen tritt dieser Effekt nicht auf; stattdessen werden dann auf sandigen Böden 110% der Ertragsleistung des sandigen Lehms in M17 erzielt, was vor allem auf die verbesserte Durchwurzelbarkeit zurückzuführen ist. Schluffreicher Boden liefert generell die höchsten Erträge, was vor allem auf die verbesserte Nährstoffaustausch- und Wasserspeicherkapazität zurückzuführen ist.

#### 6.4.5 Die Auswirkung von Temperatur, Feuchtigkeit und Höhenlage auf die Erträge

Bei den Versuchen V1-V3 wird Getreideanbau auf dem Bodentyp M17 ohne Düngung unter drei verschiedenen klimatischen Bedingungen simuliert: V1 simuliert heutige Bedingungen im Untersuchungsgebiet auf 400 müNN (siehe Abb. 8 und Symbol G auf Abb. 1), V2 kältere und niederschlagsreichere, V3 wärmere und niederschlagsärmere Bedingungen. Die Auswirkungen gehen aus dem Vergleich der Trendlinien und der Boxplot-Darstellungen in Abb. 11 klar hervor. Es wird deutlich, dass ein um 20% trockeneres und 2° C wärmeres Klima als heute im Untersuchungsgebiet höhere Erträge liefert, während die Werte durch ein 20% feuchteres und 2° C kühleres Klima geringer ausfallen. Die Abweichung der Mittelwerte in den Versuchen V2 und V3 von denjenigen in V1 beträgt -23% bzw.

+28%. Die positive Korrelation der Erträge mit wärmeren und trockeneren Bedingungen liegt nahe, da die Herkunft der Getreidepflanzen in semiariden Gebieten des Vorderen Orients liegt (Salamini et al. 2002). Allerdings gelten diese Erkenntnisse nur spezifisch für das Untersuchungsgebiet und nicht uneingeschränkt, wie die zunehmenden Probleme im Getreidebau durch Hitze- und Trockenstress als Folge des aktuellen Klimawandels in einigen Regionen Deutschlands belegen (Farack und Guddat 2008).

Aus diesen Angaben lässt sich auch eine sehr grobe und stark verallgemeinernde Abschätzung der Auswirkung der Höhenlage auf die Getreideerträge ableiten. Die Lufttemperatur nimmt allgemein mit 100 Höhenmetern um 0,5-0,7 °C ab (Weischet und Endlicher 2000 S. 52). Für die Zunahme der Niederschläge mit der Höhe sind eindeutige Aussagen wesentlich schwieriger zu treffen, da die Faktoren der Niederschlagsentstehung komplexer sind. Dennoch finden sich wiederholt Angaben im Bereich von 40-70 mm Zunahme pro 100 Höhenmetern (z.B. Wastl 2008, S. 28 ff.).

Aus diesen Angaben kann abgeleitet werden, dass eine Änderung hin zu einem um 2°C kühleren und 20% feuchteren Klima einer Änderung der Höhenstufe um 300 m entspricht. Damit können die dargestellten Auswirkungen von Niederschlag und Feuchtigkeit für eine Abschätzung des Effektes der Höhenlage verwendet werden. Aus den genannten Abweichungen von 23% und 28% in V2 und V3 kann so eine mittlere Abnahme der Getreideerträge von etwa 8% pro 100 m errechnet werden. Diese Werte konnten allerdings mangels Datenlage nicht validiert werden und sollten daher als vorsichtige Schätzung betrachtet werden. Zudem muss einschränkend hinzugefügt werden, dass diese Daten sich auf eine Höhe von 400 müNN beziehen – ob ein Änderung von 0 auf 400 müNN einen ebensolchen Effekt hat, müsste separat untersucht werden.

Die Erträge einzelner Jahre schwanken wetterbedingt um die oben genannten Mittelwerte. Die Standardabweichung in den drei Versuchen zur Nährstoffverfügbarkeit beträgt 30% für V1, 25% für V6 und 22% für V7 (für die Berechnung wurden der Trend der nachlassenden Bodenfruchtbarkeit aus den Kurven herausgerechnet). Dies bedeutet, dass die Pflanzen mit steigender Stickstoffverfügbarkeit eine verminderte Anfälligkeit gegen wetterbedingte Wachstumsbeeinträchtigungen haben. In absoluten Werten ausgedrückt sind bei V1 die maximalen Erträge von 1,5 t/ha mehr als doppelt so hoch wie die minimalen von 0,6 t/ha. Bei V6 sind diese Werte mit 2,4 bzw. 1,5 t/ha relativ betrachtet etwas geringer, während der Differenzbetrag zwischen Maxima und Minima bei V7 mit 3,0 bzw. 2,4 t/ha nochmals geringer ausfällt.

Die Auswirkungen von Witterungsphänomenen einzelner Jahre, wie Trockenperioden während der Wachstumsphase oder einem Überangebot an Niederschlag während der Reife, kann also zu drastischen Ertragsminderungen führen, die sich als Extremwert eines Jahres abbilden. Die in Abb. 8 gezeigten Klimadiagramme 2), 3) und 4) zeigen jeweils das erste simulierte Jahr unter warm/trockenen, kalt-feuchten bzw. rezenten Bedingungen. Jahr 5) ist ein Jahr besonders hoher Erträge. Das Niederschlagsdefizit im März hat offensichtlich noch keinen negativen Einfluss auf das Wachstum, weil im April ausreichend Wasser gleichmäßig über den Monat verteilt zur Verfügung steht.

Der warme und trockene Sommer mit hohen Temperaturen von Juni bis August wirkt sich positiv auf die Reifung des Getreides aus. 6) zeigt ein Jahr besonders geringer Erträge; hier wirken sich vermutlich der extrem nasse August und eine Trockenperiode von 23 Tagen im März und April besonders negativ auf die Ernte aus. Die absolute Menge an Wärme und an Wasser sowie deren Verteilung innerhalb der Wachstumsphase ist ein maßgeblicher Einflussfaktor auf die Ernten. Dies wurde unter anderem von Pfister (2001, S. 28 ff.) anhand historischer Belege dargestellt. Er kann auch nachweisen, dass den historisch belegten meteorologisch bedingten Ertragseinbußen eine relativ kleine Palette an Witterungskonstellationen zugrunde liegt.

## 6.5 Bewertung der Ergebnisse

Wir haben die Ergebnisse der Versuche V1 und V6 mit den unter Abb. 13 dargestellten Erkenntnissen der Rothamsted Research Station verglichen, die vermutlich den am besten geeigneten Vergleichsdatensatz aus langfristigen Feldbauexperimenten darstellen (the Broadbalk Experiment, ©Rothamsted Research, Poulton 2006). Zu beachten ist allerdings, dass hier Weizen anstelle von Emmer angebaut wurde. Hier sind die mittleren Erträge auf nicht gedüngten Feldern stabiler als in V1 berechnet; die Mittelwerte liegen auch langfristig bei etwas unter einer Tonne, die Standardabweichung liegt mit 30% exakt gleich hoch wie bei den mit MONICA gewonnenen Daten.

Ebenfalls gegensätzlich zu V1 findet ein vergleichbares Absinken auf sehr geringe Erträge nach mehreren Jahrzehnten nicht statt. Dieser Unterschied ist vermutlich damit zu erklären, dass auf den Broadbalk-Feldern bereits lange vor Beginn der Anbauversuche Feldbau betrieben wurde, wodurch sich ein annäherndes Gleichgewicht im Nährstoffhaushalt des Bodens eingestellt hat, während für die hier diskutierten Berechnungen ein frisch in die Nutzung aufgenommener Waldboden zu Grunde gelegt wurde. Die gedüngten Versuchsfelder erhalten dort eine wesentlich höhere Mistdüngung von 35 t/ha/Jahr, wodurch im Schnitt zwischen 2 und 3 Tonnen Getreide pro Hektar und Jahr erzielt werden. Dies hängt auch mit den anderen Sorten zusammen, die bereits durch frühe Züchtungserfolge verändert waren (Poulton 2006). Die Standardabweichung der Erträge bei den gedüngten Feldern liegt bei 18% und bestätigt damit die oben genannte Korrelation mit der Stickstoffversorgung, allerdings ist dieser Effekt hier noch stärker ausgebildet als selbst bei V7.

Dagegen kommen die Ergebnisse eines langjährigen Erschöpfungsversuches (Tassiopoulos 1977) unseren Befunden näher: durch einen kontinuierlichen Anbau verschiedener Feldfrüchte ohne Düngung für eine Dauer von 18 Jahren konnte dort ein relativer Ertragsrückgang von 30% beobachtet werden, während durch die Düngung mit 40 t Stallmist pro Hektar und Jahr der Ertragsrückgang auf 10% begrenzt werden konnte. Damit bewegt sich die relative Abnahme der Erträge in einem etwas geringeren, aber doch tendenziell ähnlichen Bereich.

Eine weitere Vergleichsmöglichkeit bieten die Daten der Anbauversuche auf der Butser Ancient Farm (Reynolds 1992). Sie beziehen sich auf eine 15-jährige Anbauperiode bei kontinuierlichem Emmeranbau ohne Düngung, der an eisenzeitlichen Bedingungen orientiert ist. Die Managementmaßnahmen entsprechen dem oben vorgestellten Versuch V1. Die Felder befanden sich in einer Position, die der Autor als „worst option“ bezeichnet hat, mit einer nur 10 cm mächtigen „puffy black friable rendzina“ (schwarze, krümelige Rendzina) als Bodenaufgabe. Umso erstaunlicher sind die erzielten durchschnittlichen Erträge von 1,65 t/ha; es ist auch kein eindeutiger Trend abnehmender Bodenfruchtbarkeit zu erkennen – vielmehr wird in Jahr 14 mit 3 t/ha der höchste Ertrag der gesamten Versuchsdauer erzielt. Dies steht in starkem Kontrast zu den oben vorgestellten Ergebnissen: mit MONICA wurden mit V1 lediglich 0,85 t/ha als Mittelwert während der ersten 15 Jahre simuliert, und der höchste absolut erzielte Wert liegt bei 1,49 t/ha in Jahr 7.

Eine mögliche Erklärung liegt in den sehr unterschiedlichen edaphischen Bedingungen: so stellte der Bodentyp, den Reynolds für seine Versuche nutzen konnte, tatsächlich keine ganz so „schlechte Option“ dar, handelte es sich doch um zwar geringmächtige, doch äußerst fruchtbare schwarzerdeähnliche Böden (frdl. Mitteilung Manfred Rösch). Ein weiterer Grund könnte in der deutlich verschiedenen Niederschlagsverteilung zu finden sein: die Jahresniederschläge liegen auf der Butser Ancient Farm bei 763 mm mit einem ausgeprägten Niederschlagsmaximum im Winter, bei nur je 40-60 mm während der Sommermonate. Dagegen werden in der Referenzstation Göttingen 944 mm Jahresniederschlag gemessen, und die Station weist ein ausgeprägtes sommerliches Maximum der Niederschläge mit Werten von 80-100 mm pro Monat auf.

Für eine Bewertung der Ergebnisse von V7 bietet sich der Vergleich mit den Ergebnissen der Freilandversuche in Forchtenberg an (Ehrmann et al. 2014, 2009). Dort wurde während einer Anbauperiode von 15 Jahren durch Brandfeldbau ein durchschnittlicher Emmerertrag von 2,95 t/ha erzielt (Ehrmann et al. 2014, berechnet nach Abb.3), was dem hier ermittelten Wert von 2,7 t/ha recht nahe kommt (siehe dazu Abb. 14).

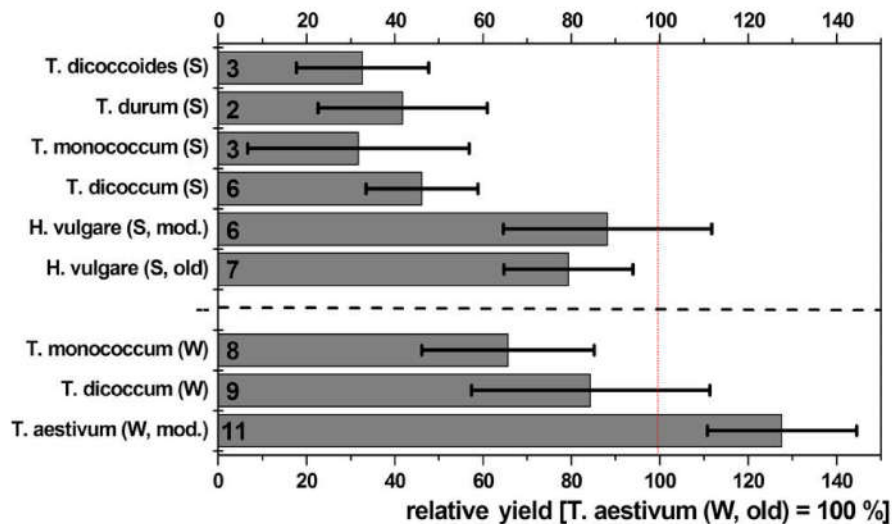


Abb. 14: Relative durchschnittliche Erträge für verschiedene Getreidearten im Vergleich zum Ertrag von „altem“ Winterweizen (*Triticum aestivum* = 100%) während einer Periode von 15 Jahren im Brandfeldbau. S=Sommeranbau, W= Winteranbau, mod.= modern. Wo die Ertragsleistung der neolithischen Varietäten der Arten *T. monococcum*, *T. durum/turgidum* und *H. vulgare* zu verorten wäre, kann nicht sicher beantwortet werden

## 6.6 Fazit zur Simulation von Getreideerträgen

Im vorangegangenen Kap. 6 konnte gezeigt werden, dass durch die Ertragssimulation aussagekräftige, überprüfbare und wiederholbare Daten mit geringem Aufwand produziert werden können. Als wichtige Erkenntnisse können festgehalten werden:

- 1) Die Stickstoffverfügbarkeit hat einen hohen Einfluss auf die Höhe der Erträge. Durch ein Brandverfahren wie es in Shifting Cultivation zum Einsatz kommt, können daher durch das Verlegen und Überbrennen der Felder dauerhaft hohe Erträge erzielt werden, die hier im Mittel mit 2,7 t/ha (Emmer, Gewicht ohne Spelzen) errechnet wurden. Durch die Düngung mit 10 t Mist/ha/a wird ein ähnlicher, wenn auch abgeschwächter Effekt erzielt, und der Mittelwert der ersten zehn Jahre bei permanentem, gedüngtem Feldbau beträgt 1,7 t/ha. Im gleichen Zeitraum wird ohne Düngung durchschnittlich nur eine Tonne pro Hektar erzielt.
- 2) Auch durch die Einhaltung von Brachzeiten und den gemeinsamen Anbau mit stickstofffixierenden Leguminosen kann ein beträchtlicher Ertragsgewinn einhergehen, der u. U. eine ähnlich positive Wirkung wie die Düngung mit Stallmist haben kann.
- 3) Diese Mittelwerte müssen jedoch mit ihrer wetterbedingten Variabilität gemeinsam betrachtet werden. Die Standardabweichungen in den drei Verfahren V1, V6 und V7 liegt bei 25-30%, d.h. es treten beträchtliche Schwankungen um die genannten Mittelwerte auf. Während gute Jahre si-

cherlich auftraten und eine positive Auswirkung auf die Nahrungsversorgung der Siedlungen hatten, so waren es doch vermutlich die Minimalwerte schlechter Jahre, die eine besondere Bedeutung für das Leben der Menschen hatten: sie treten mit so hoher Regelmäßigkeit auf, dass Strategien zur Abpufferung vermutlich elementarer Bestandteil des Systems sein mussten.

- 4) Das Absinken der Erträge auf Grund von fortgesetztem Nährstoffexport wird besonders ohne die Zufuhr von Dünger bereits nach wenigen Jahren des Anbaus deutlich. Die Erträge erreichen hier nach 10 Jahren des Anbaus nur noch 60% der anfänglichen Werte, während die Düngung mit 10 t Mist/ha/a das Absinken im gleichen Zeitraum auf 80% verlangsamt. Durch Brandfeldbau und die Verlegung der Felder kann dieser Effekt auf 0 reduziert werden.
- 5) Die Auswirkungen der Korngröße des Bodens sowie einer Änderung des langjährigen klimatischen Mittels von Temperatur und Niederschlag konnten ebenfalls quantifiziert werden. Sie sind von geringerer Bedeutung als die Stickstoffverfügbarkeit, jedoch keineswegs ohne Effekt. Die Variation der Korngröße von schluffreicherem zu sandigerem Boden bewirkt in unseren Versuchen eine Änderung um 8-17%, während veränderte klimatische Bedingungen im oben genannten Umfang Abweichungen von 23-28% zur Folge haben. Aus den letztgenannten Angaben kann eine sehr grobe Abschätzung der höhenbedingten Abnahme der Erträge von 8% je 100 Höhenmetern in Bergregionen erfolgen, da die Zunahme der Höhe gleichbedeutend mit einer Zunahme von Niederschlag und einer Abnahme der Temperatur ist.

Da die Prognosequalität des Modells MONICA mehrfach getestet und belegt wurde (Asseng et al. 2013; Salo et al. 2016, angenommen; Specka et al. 2016), kann als gesichert gelten, dass das Modell die Annahmen der Versuche V1-V7 korrekt wiedergibt. Diese einerseits hohe Präzision der Ergebnisse darf andererseits nicht darüber hinweg täuschen, dass die gemachten Rahmenbedingungen sehr starre Annahmen verkörpern, die kaum je in Reinform realisiert gewesen sein dürften.

Allerdings kann gerade durch die Verwendung genau definierter, sicher nicht allgemeingültiger Annahmen der Wertebereich des mit Bezug auf die Untersuchungseinheit Wahrscheinlichen bestimmt werden. Zudem gelten sicher für die anderen angebauten Getreidesorten (Nacktwitzen, Gerste und Einkorn) verschiedene Ertragsniveaus. Auch konnten keineswegs alle möglichen Anbaumethoden im Detail untersucht werden. Dennoch erlauben es die Daten, auf ihrer Grundlage weitere Untersuchungen zum Getreideanbau und zur Nahrungsversorgung zu begründen. Im Folgenden Kapitel 7 wird das Simulationsmodell WELASSIMO\_feldbau vorgestellt, welches die oben diskutierten Ergebnisse gemeinsam mit anderen Datensätzen zu Ökonomie und Ökologie der Siedlungen integriert, um den Flächenbedarf für den Getreidebau und dessen potenzielle Bedeutung für die Ernährung in den Feuchtbodensiedlungen zu simulieren.

## 7 Simulation des Getreideanbaus: das Modell WELASSIMO\_feldbau

### 7.1 Hintergrund

In Kap. 5 wurden existierende Modelle von verschiedenen Aspekten des sozio-ökologischen Systems der jung- bis endneolithischen Feuchtbodensiedlungen im Untersuchungsgebiet vorgestellt. Trotz – oder wegen – des extrem hoch aufgelösten Datenbestandes, der den meisten der Modelle zugrunde liegt, werden seit Jahrzehnten zwei gegensätzliche Hypothesen der Landnutzung diskutiert: haben die Bewohner der Feuchtbodensiedlungen Brandfeldbau mit jährlicher Verlegung der Feldflächen praktiziert oder wurde der Getreideanbau auf permanenten, über mehrere Jahre hinweg genutzten Feldflächen betrieben (zuletzt: Jacomet et al. 2016; Rösch et al. 2014)? Die Datengrundlage der jeweiligen Hypothesen ist mit etablierten, validierten und publizierten Forschungsmethoden entwickelt worden und kann somit als weitgehend objektiv und gesichert gelten. Dagegen ist die Interpretation der Daten und die darauf aufbauende Entwicklung von Hypothesen über die Entstehung der Befunde ein subjektiver Prozess, weshalb zwei gegensätzliche Hypothesen abgeleitet werden können. Somit kommt es also weniger darauf an, immer weitere Belege für die Richtigkeit der Hypothesen anzuführen, als vielmehr darauf, die vorhandenen Daten in ihrer systemischen Bedeutung richtig einzuordnen und zu interpretieren.

Die Frage, wie genau der Getreideanbau organisiert war, ob nun in Brandfeldbau oder in permanentem Feldbau, ist dabei keineswegs so trivial wie es vielleicht anfänglich scheinen mag; denn die beiden Verfahren funktionieren nicht isoliert von den übrigen ökonomischen Aktivitäten, sondern sind nur ein Element des sozio-ökologischen Systems – wenngleich ein bedeutendes mit einer hohen Bedeutung für das Verständnis des gesamten Pfahlbauphänomens. So hat die Ausübung von Brandfeldbau einen starken Einfluss auf die Vegetationsdynamik, welcher eine zentrale Rolle für das Verständnis des Systems beigemessen wird (Billamboz 2014). Der Autor hat jüngst dargelegt, welche hohe Bedeutung die natürliche und anthropogen bedingte Waldentwicklung für die Bewohner der Feuchtbodensiedlungen hatte. Auch für die Landschaftswahrnehmung und die psychische und physische Verortung des Menschen in seiner Umwelt hat ein Verfahren, welches sich auf ein jährliches Einschlagen und Überbrennen immer neuer Flächen stützt, sicherlich eine andere Wirkung als ein Verfahren, das mit größerer Permanenz und Ortskonstanz über Jahre hinweg Investitionen in eine bestimmte Fläche erfordert.

Auch permanente Anbauverfahren haben spezifische Erfordernisse und Implikationen, die sich auf das Funktionieren einer Gesellschaft und ihre materielle wie immaterielle Kultur auswirken. So erfordert eine intensive Mistdüngung bei permanenten Anbaumethoden eine Mindestanzahl an Rindern, ebenso wie eine vorwiegend siedlungs- oder feldnahe Haltung der Herden und nach Möglichkeit eine zumindest zeitweise Aufstallung der Tiere. Auch geht mit den Verfahren eine spezifische Arbeitsbelastung einher, die einen Einfluss auf die Kapazitäten der Menschen zum Ausüben der übrigen ökonomischen Aktivitäten hat. Schließlich ist auch der Raumbedarf der Verfahren von Bedeutung, weil die Siedlungen durch die Topografie ihres wirtschaftlich nutzbaren Umlandes wenn nicht limitiert, so doch geprägt sind. Die Ausübung eines bestimmten Getreidebauverfahrens durch eine Menschengruppe hat also spezifische systemische Auswirkungen, die jeweils deutlich verschiedene Lebensrealitäten vermuten lassen.



## 7.2 Fragestellungen

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, sowohl quantitative Aussagen über die Auswirkungen der Getreidebauverfahren zu ermöglichen als auch eine Bewertung der Plausibilität der diskutierten Anbauverfahren vorzunehmen. Die zentralen Fragestellungen lauten dabei:

- 1) Wie groß war der Flächenbedarf für den Feldbau einer Siedlung unter Annahme verschiedener Anbauverfahren?
- 2) Wie groß war die Arbeitsbelastung pro Haus für die Verfahren, und welche Flächengrößen konnten dementsprechend bearbeitet werden?
- 3) Welcher Getreideanteil an der gesamten Ernährung kann daraus abgeleitet werden, und welchen Schwankungen unterlag er?
- 4) Wie ist die Plausibilität der Hypothesen zu den Anbauverfahren unter Berücksichtigung der hier erzielten Ergebnisse zu bewerten?
- 5) Lässt sich aus dem Getreideanbau eine Begründung für die beschriebene hohe Siedlungsdynamik ableiten?

## 7.3 Beschreibung des Modells

In dieser Modellbeschreibung liegt der Fokus auf inhaltlichen Aspekten sowie auf der Einbindung von Daten und der Implementierung von Prozessen. Der Code sowie das ODD-Protokoll (in englischer Sprache) zur Dokumentation von Simulationsmodellen (Grimm et al. 2010, 2006) sind im Anhang Kap. 13.3 und 9.4 zu finden.

### 7.3.1 Methode der agentenbasierten Simulation mit WELASSIMO\_feldbau

Das agentenbasierte Simulationsmodell WELASSIMO\_feldbau ist auf der Softwareplattform NETLOGO programmiert (Wilensky 1999, 2015) und simuliert den Getreideanbau der Bewohner einer prähistorischen Feuchtbodensiedlung in einer idealtypischen Landschaft des nordwestlichen Alpenvorlandes unter Annahme verschiedener Anbaumethoden. Die Simulation des Systems ermöglicht es, die Auswirkungen verschiedener Modellparameter und Szenarien zu beobachten. Die Laufzeit des Modells beträgt typischerweise mehrere Jahre, zu deren Ende jeweils ein „Tick“ erfolgt (sprich ein Signal im Modell), woraufhin das Modell ein Jahr voranschreitet. Die zeitliche Auflösung beträgt ein Jahr.

Das Simulationsmodell besteht einerseits aus einer Landschaft, die aus  $200 \times 200 = 40.000$  Zellen mit je 25 m Seitenlänge aufgebaut ist, und andererseits aus sogenannten „Agenten“, das sind definierte Einheiten innerhalb des Modells mit der Fähigkeit zur Ausübung von Handlungen. Zellen und Agenten können miteinander interagieren und sind durch eine Reihe von Attributen charakterisiert (Tab\_6B). Zum Zeitpunkt  $t=0$  sind die Zellen von einem der drei Landschaftselemente See oder Wald bedeckt. Der Waldtyp ist abhängig von Bodentyp und kann Buchenmischwald, Erlen-Eschenwald oder Erlenbruchwald sein. Der Waldbestand auf der Zelle ist dynamisch und altert mit jedem Tick um ein Jahr, wobei bei Erreichen eines bestimmten Bestandesalters ein definierter Waldentwicklungszustand erreicht wird. Diesem Sub-Modell liegen ökologische Konzepte des Waldwachstums zugrunde zu Grunde (Remmert 1991; Emborg et al. 2000; Abb. 3, 34 und 35).

Die Attribute der Zellen sind entweder von ökonomischer, ökologischer und modellinternen Bedeutung. Ihre Werte sind zum Teil von Beginn der Simulation an unveränderlich, während sich andere im Verlauf der Simulation durch die simulierten Prozesse ändern können. Die unveränderlichen Attribute sind „pelevation“ (Meereshöhe), „psoiltype“ (Bodentyp), „pslope“ (Hangneigung), und „pcostdist“

(relative Gehzeit zur Zelle; weitere Erläuterung unter Kap. 7.3.2.1), die veränderlichen Attribute sind „pfertility“ (Bodenfruchtbarkeit), „pfallow“ (Anzahl Jahre des Brachliegens der Fläche) und „pstandage“ (Bestandesalter). Im Zentrum des Modells ist ein Agent des Typs „Siedlung“ sowie eine eingangs zu bestimmende Anzahl Agenten des Typs „MH“ (Modellhaushalt) lokalisiert.

Tab. 6B: veränderliche und unveränderliche Attribute der Zellen in den Modellen WELASSIMO\_feldbau (Normalschrift) und WELASSIMO\_fläche (Normalschrift + Kursivschrift)

Attribut	Kontext	Art	Beschreibung
pelevation	Umwelt	unveränderlich	Meter über dem Meeresspiegel
psoiltype	Umwelt	unveränderlich	1=Parabraunerde; 2=Gley; 3=Niedermoor; 4=Wasser
pcostdist	Umwelt	unveränderlich	Relative Gehzeit von der Siedlung zur Zelle
pslope	Umwelt	unveränderlich	Neigungswinkel in Grad
pfallow	Umwelt	veränderlich	Anzahl Jahre des Brachliegens der Fläche
pfertility	Umwelt	veränderlich	Relative Bodenfruchtbarkeit; maximum=100%
pstandage	Umwelt	veränderlich	Bestandesalter der Bäume auf der Zelle
<i>plandscape-type</i>	<i>Umwelt</i>	<i>veränderlich</i>	<i>Nummer 1-8; definiert Landschaftstyp</i>
<i>p_Lufodder</i>	<i>ökonomisch</i>	<i>veränderlich</i>	<i>Kapazität der Versorgung von 1 GVE; 100% = 1</i>
<i>p_timberstock</i>	<i>ökonomisch</i>	<i>veränderlich</i>	<i>Kapazität der Bedarfsdeckung von 1 MH; 100% = 1</i>
<i>p_fwstock</i>	<i>ökonomisch</i>	<i>veränderlich</i>	<i>Kapazität der Bedarfsdeckung von 1 MH; 100% = 1</i>
<i>p_gatherstock</i>	<i>ökonomisch</i>	<i>veränderlich</i>	<i>Kapazität der Bedarfsdeckung von 1 MH; 100% = 1</i>
<i>p_fish</i>	<i>ökonomisch</i>	<i>unveränderlich</i>	<i>Kapazität der Bedarfsdeckung von 1 MH; 100% = 1</i>
<i>p_game</i>	<i>ökonomisch</i>	<i>unveränderlich</i>	<i>Kapazität der Bedarfsdeckung von 1 MH; 100% = 1</i>
<i>pfieldcenter?</i>	<i>modellintern</i>	<i>veränderlich</i>	<i>wahr/falsch?</i>
<i>pfild?</i>	<i>modellintern</i>	<i>veränderlich</i>	<i>wahr/falsch?</i>
<i>powner?</i>	<i>modellintern</i>	<i>veränderlich</i>	<i>der besitzende Modellhaushalt</i>
<i>pfildage</i>	<i>modellintern</i>	<i>veränderlich</i>	<i>Nutzungsdauer des Feldes in Jahren</i>
<i>pgathered?</i>	<i>modellintern</i>	<i>veränderlich</i>	<i>wahr/falsch: wurde hier gesammelt?</i>
<i>pbrowsed?</i>	<i>modellintern</i>	<i>veränderlich</i>	<i>wahr/falsch: haben hier GVEs geweidet?</i>
<i>phunted?</i>	<i>modellintern</i>	<i>veränderlich</i>	<i>wahr/falsch: wurde hier gejagt?</i>
<i>pfished?</i>	<i>modellintern</i>	<i>veränderlich</i>	<i>wahr/falsch: wurde hier gefischt?</i>
<i>pfwcollected?</i>	<i>modellintern</i>	<i>veränderlich</i>	<i>wahr/falsch: wurde hier Feuerholz gesammelt?</i>
<i>ptimbercollected?</i>	<i>modellintern</i>	<i>veränderlich</i>	<i>wahr/falsch: wurde hier Bauholz entnommen?</i>
<i>ptimberregrow</i>	<i>modellintern</i>	<i>veränderlich</i>	<i>Jahre bis Bauholzvorrat nachgewachsen ist</i>

Die MHs haben die unveränderlichen Attribute „Arbeitskraft“ und „Anzahl Kühe“ und das veränderliche Attribut „Getreidevorrat“. Sie haben die Aufgabe, unter Verwendung definierter Kriterien eine Anzahl von Zellen auszuwählen, so dass eine eingangs zu bestimmende gesamte Feldfläche pro MH erreicht wird, und diese entsprechend den definierten Verfahren in jedem Jahr zu bewirtschaften. Die Feldfläche jedes MHs erzielt einen Getreideertrag, der unter Verwendung der Ergebnisse aus der Ertragssimulation mit MONICA sowie einem relativen Wert für die Feldfruchtbarkeit berechnet wird. Dieser ist abhängig von dem initialen Wert und der Dauer der Feldnutzung. Der erzielte Getreideertrag und die Arbeitsbelastung für den Haushalt werden dokumentiert.

In Abb. 15 sind die Zusammenhänge zwischen den in WELASSIMO\_feldbau berücksichtigten Konzepten dargestellt, die im Folgenden kurz erläutert werden. Im Zentrum der Abbildung sind die zwei wesentlichen Objekte des Modells dargestellt: „Modellhaushalte“ (MH) und „Umwelt (Zellen)“. Die MHs führen jährlich Getreideanbau durch und „besitzen“ daher eine bestimmte Anzahl Getreidefelder definierter Größe. Abhängig vom menschlichen Feldbau befinden sich die Zellen der Umwelt in einem der drei Zustände „unbeeinflusst“, „Getreidefeld“ und „Brache“, für die jeweils unterschiedliche veränderliche Attribute bezeichnend sind.

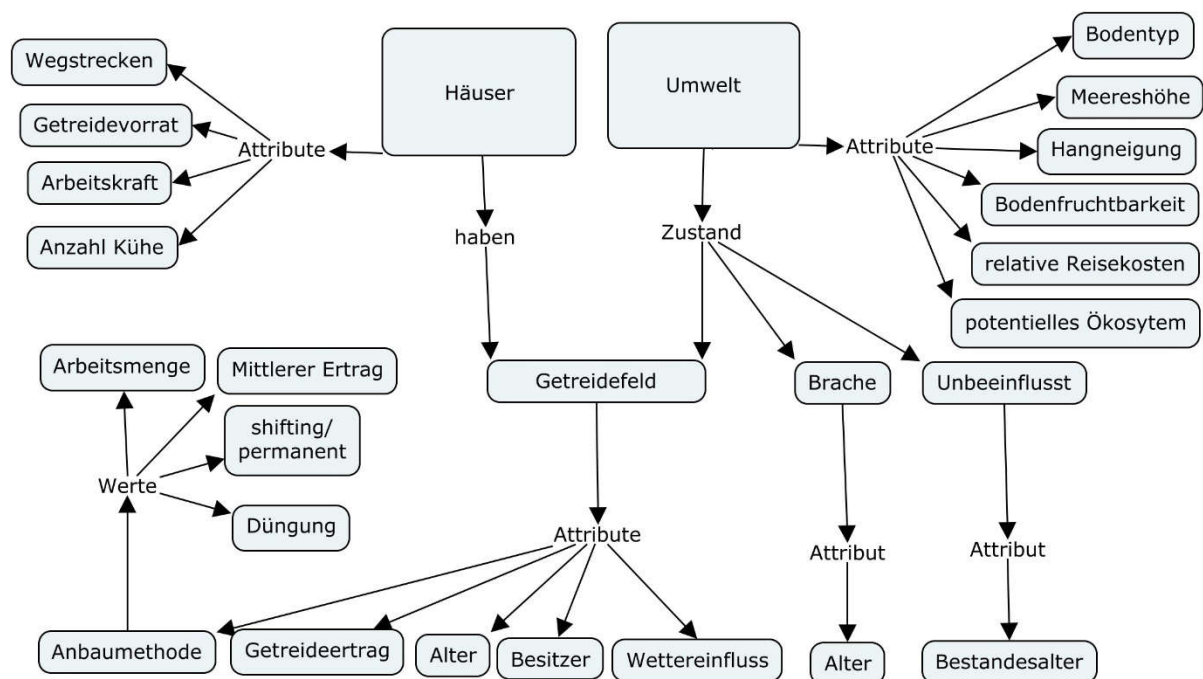


Abb. 15: Diagramm der in WELASSIMO\_feldbau berücksichtigten Konzepte

Im unbeeinflussten Zustand ist das „Bestandesalter“ (welches die Waldentwicklungsphase definiert) maßgeblich, im Zustand „Getreidefeld“ sind es der „Getreideertrag“, die „bisherige Nutzungsdauer“, das „besitzende Haus“, der „Wettereinfluss“ und die „Anbaumethode“, und während der Brache ist „bisherige Brachdauer“ relevant.

Der zeitliche Ablauf der Simulation ist in Abb. 17 dargestellt. Vor Beginn jeder Simulation muss die Anzahl der Häuser, die Größe der Felder pro Haus und das Anbauverfahren gewählt werden, um den Rahmen für die folgende Simulation zu definieren. Während des Setups werden den Zellen ihre feststehenden Attributwerte zugewiesen und Waldbestände gleicher Entwicklungsphasen gebildet (siehe dazu Kap. 6.4.2.3). Mit Beginn der Simulation laufen in Jahresritten („Ticks“) die folgenden Prozesse nacheinander ab: Der Wettereinfluss auf den jährlichen Getreideertrag wird definiert; falls neue Felder erforderlich sind, werden diese geöffnet und vorbereitet; auf den Feldern wird Getreideanbau

und Ernte durchgeführt; der Getreideanteil an der Jahresernährung und die Arbeitsbelastung der Häuser werden berechnet; falls ungenutzte (Brach-) Felder existieren, findet auf diesen Sekundärsukzession statt; auf den unbeeinflussten Zellen findet Primärsukzession statt; die Feldfruchtbarkeit wird ggf. aktualisiert; die Plots und die Karte werden aktualisiert. Dies wiederholt sich, bis die Simulation beendet wird.

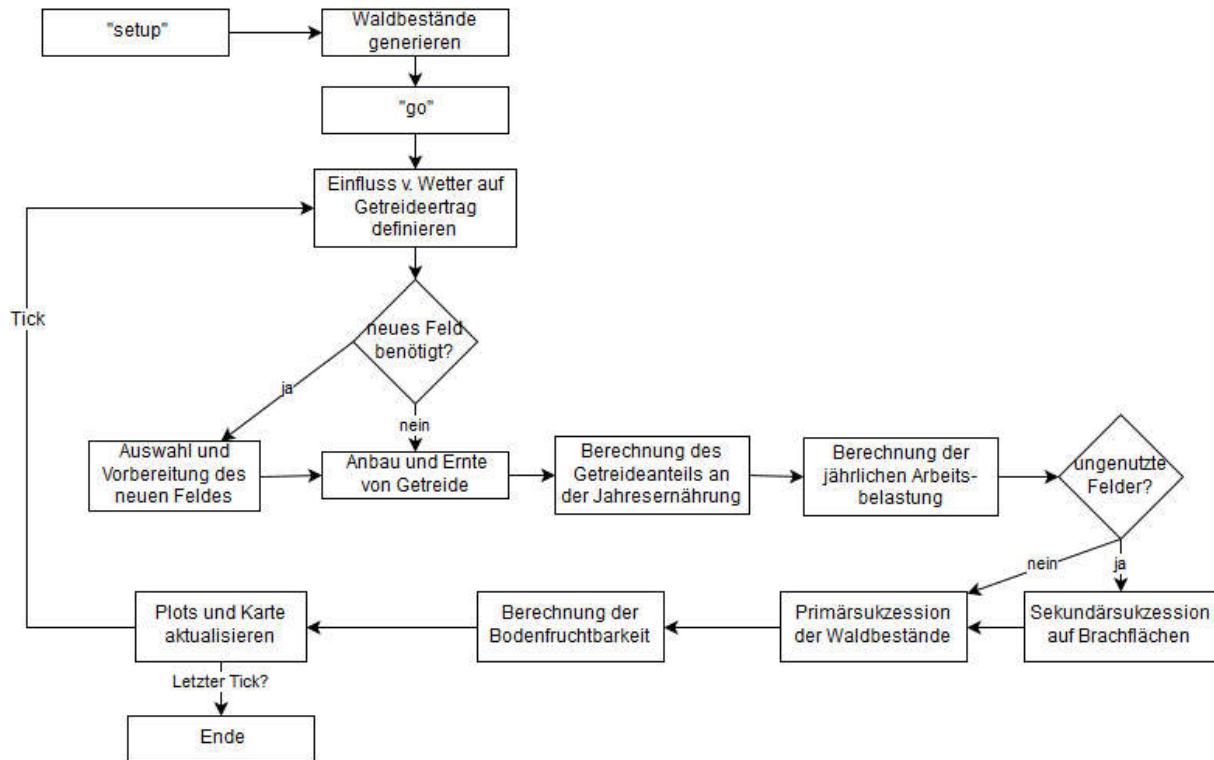


Abb. 16: Flussdiagramm von WELASSIMO\_feldbau

### 7.3.2 Die Generierung der Modellumwelt zum Zeitpunkt $t=0$

Die Modelllandschaft mit einer Ausdehnung von 5x5 km besteht aus 200x200 Zellen von je 25x25 m (=1/16 ha). Es wurde nach rein subjektiven Kriterien eine real existierende Landschaft als Grundlage ausgewählt, deren Eigenschaften zum Teil in Form von Geodatenätzen verfügbar sind (siehe Abb. ). Die Modelllandschaft liegt zu 95% im Naturraum „Westallgäuer Hügelland“, etwa 5% gehören den „Riß-Oistrach-Platten“ an (Leibundgut 2001). In der Landschaft sind bislang keine prähistorischen Moor- oder Seeufersiedlungen bekannt; die nächstliegende bekannte Fundstelle Bodnegg-Weiher befindet sich etwa 20 km südlich. Die Geodatenätze wurden in einem geografischen Informationssystem für die Verwendung im Modell aufgearbeitet. Zum Zeitpunkt  $t=0$  befinden sich die Zellen in einem hypothetischen Urzustand ohne vorangegangenen menschlichen Einfluss, es wird also in der Grundversion des Modells davon ausgegangen, dass keine vorherige Landnutzung stattgefunden hat (was sicher nicht den Normalfall bei der Anlage einer neuen Siedlung dargestellt hat). Dies hat Auswirkungen auf die Vegetationsbedeckung der Zellen und kann nach Bedarf variiert werden. Die möglichen Werte der Zellattribute sind in Tab. 7 zusammengefasst.

Tab. 7: Umweltparameter und mögliche Werte der Zellen im Modell WELASSIMO\_feldbau zum Zeitpunkt t=0

Umweltvariable	Mögliche Werte	Datenquelle/Literatur
Bodentyp / <i>natürliches Ökosystem</i>	Parabraunerde/ <i>Buchenmischwald</i> Gley / <i>Erlen-Eschenwald</i> Niedermoor / <i>Erlenbruchwald</i> Wasserfläche / <i>See</i>	LGRB (2013) / Kerig und Lechterbeck (2004), Rösch et al. (2014, p. 124), Lang (1990, S. 50 ff.)
Bodenfruchtbarkeit	0,0 - 1,0	Eigene Annahme
Bestandesalter; <i>Waldentwicklungsphase</i>	1-500 Jahre; 1-40 <i>Initialphase</i> , 41-80 <i>Verjüngungsphase</i> , 80-220 <i>Optimalphase</i> 220-400 <i>Terminalphase</i> 400-500 <i>Zerfallsphase</i>	Leibundgut (1993, 1982); Remmert (1991); Härdtle et al. (2004 S. 80); Mayer und Neumann (1981)
Relative Gehzeit zur Zelle	1-10.000 (Relative Einheiten)	DGM ©LGL-Baden-Württemberg.de, Tobler (1993)
Hangneigung	1-32 °	DGM ©LGL-Baden-Württemberg.de
Meereshöhe	0-740 müNN	DGM ©LGL-Baden Württemberg.de

### 7.3.2.1 Relief und Topografie

Die Meereshöhe der Modelllandschaft liegt zwischen 640 und 740 müNN (©LGL Baden-Württemberg, www.lgl-bw.de), was etwa dem Maximum der bekannten Verbreitung der Feuchtbodensiedlungen in Baden-Württemberg entspricht (Siedlung Illmensee, 690 müNN, Datenbank in Ebersbach 2010a). Die heutige Höhenlage und die Topografie können ohne Anpassungen auch für den Untersuchungszeitraum verwendet werden, da sich seither keine bedeutenden Hebungen oder Senkungen dokumentieren lassen und derartige Prozesse in der Regel auf größeren Zeitskalen stattfinden. Der Parameter „relative Gehzeit von der Siedlung“ ist ein Maß für die Erreichbarkeit der jeweiligen Zelle unter Einbeziehung sowohl der Entfernung als auch der verminderten Gehgeschwindigkeit bei Hangneigungen > 0°.

Der Wert wurde für jede Zelle in Arc-GIS unter Verwendung des „Spatial Analyst“-Werkzeugs und der Formel nach Tobler (1993) errechnet und als externer Datensatz in NETLOGO importiert. Die Verwendung dieses Datensatzes ermöglicht eine realistischere Auswahl der Flächen als bei bloßer Orientierung an der euklidischen Entfernung. Theoretisch ließe sich das Konzept der minimalen Wegkosten auch als Element der Simulation programmieren; besonders für den Fall einer Verwendung des Modells in einer Landschaft mit mehr als nur einer Siedlung wäre dieser Weg zu bevorzugen.

### 7.3.2.2 Geologie, Bodentypen und Bodenfruchtbarkeit

Die Modelllandschaft war während der älteren Riß- und teilweise auch während der jüngeren Würmeiszeit von Gletschern bedeckt (siehe Kap. 3.2. und Abb. ). Die maximale Ausdehnung der Würmeiszeit wird in diesem Gebiet durch die Endmoräne des Schaffhausener Stadiums definiert, die von W nach O durch die Modelllandschaft verläuft. Damit liegen auch in der Modelllandschaft die im Alpenvorland für die Bodenbildung typischen Substrate vorwiegend glazialen Ursprungs vor, weshalb die Ergebnisse von Kap. 6 hier verwendet werden können.

Die Bodentypenverteilung wurde aus dem entsprechenden Geodatenatz des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB 2013) abgeleitet, der mir zu Forschungszwecken freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurde. Wie in Kap. 3.2 näher erläutert, gehe ich im Vergleich zu heute von einer annähernd gleichen Bodentypenverteilung für den Untersuchungszeitraum aus. Ich habe die Daten jedoch modifiziert, so dass eine einerseits vereinfachte und andererseits mit Bezug auf den Untersuchungszeitraum wahrscheinlichere Bodentypenverbreitung dargestellt wird. Die Vereinfachungen bestehen darin, dass alle Subvarietäten der Bodentypen die gleichen Eigenschaften besitzen. So wurden z.B. Anmoorgley, Quellgley, Auengley alle als Gley kategorisiert.

Parabraunerde mit Stauwasserhorizont oder auf verschiedenen Substraten wurden unter Parabraunerde zusammengefasst. Ebenso wurden podsolierte, also heute durch Versauerung beeinflusste Parabraunerden als Norm-Parabraunerden behandelt. Die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass die entsprechenden Prozesse erst durch fortdauernde Entkalkung und in den vergangenen Jahrhunderten auch durch die zunehmende Anpflanzung von saure Streu liefernden Fichtenforsten entstanden und somit vor allem auf den wärmzeitlichen Sedimenten während des Untersuchungszeitraums keine Bedeutung hatten (Stahr und Peyer 1997).

Eine Verbesserung der Passgenauigkeit mit Bezug auf den Untersuchungszeitraum wurde erreicht, indem der anthropogene Bodentyp Kolluvium durch denjenigen des flächenmässig dominierenden Nachbarpolygons ersetzt wurde. Kolluvien entstehen am Unterhang geneigter Flächen als Bodenakkumulationen aufgrund von Erosion am Oberhang durch menschliche Eingriffe wie Rodung, Ackerbau und Viehbeweidung (Scheffer und Schachtschabel 2010). Da diese Prozesse im Untersuchungsgebiet erst seit etwa 4000 v. Chr. allmählich einsetzen (z.B. Vogt 2014), entstammen die ältesten Kolluvien vermutlich eben jener Zeit, haben jedoch sicherlich noch keine relevante Verbreitung gehabt.

Ähnlich wurde mit dem Bodentyp Pararendzina verfahren; dieser ist eine Folge von starken, andauernden Erosionsprozessen, die nur in steilen Hangpartien als natürliche Erscheinung auftreten, während sie bei schwächer geneigten Hängen eine Folge lang andauernder menschlicher Landnutzung sind und somit ebenfalls noch keine bedeutende Verbreitung während des Untersuchungszeitraumes besaßen. Das Resultat ist eine stark vereinfachte Bodentypenkarte, die jedoch die vermutlichen Bedingungen während des Untersuchungszeitraumes gut wiedergibt (Abb. ). Als Kategorien verbleiben darin nur – in der Reihenfolge ihres Flächenanteiles – Parabraunerde, Gley, Niedermoor und Wasserfläche. Eine Rekonstruktion der vermeintlich wahren Bodenverhältnisse wäre ein extrem aufwändiges Unterfangen gewesen, und das Resultat wäre dennoch mit Unsicherheit behaftet.

Die Bodenfruchtbarkeit ist hier als Summe der ertragsbeeinflussenden Bodeneigenschaften der jeweiligen Zelle definiert (siehe dazu Abb. 6). Für diesen Parameter liegen keine nutzbaren digitalen Datensätze vor; in Deutschland bestünde die beste Annäherung in der Nutzung von Bodenschätzkarten, wie sie zum Zweck der Steuerfestsetzung für landwirtschaftliche Betriebe erhoben werden. Diese Karten liegen jedoch entweder analog und in dem sehr großen Maßstab von 1:5000 vor, oder in dem sehr kleinen Maßstab von 1:1.000.000 auf nationaler Ebene (Müller et al. 2007), der jedoch leider für weite Bereiche Deutschlands keine Daten enthält – so auch für die Modelllandschaft. In Ermangelung eines geeigneten Datensatzes wurde eine sehr einfache, relative Bewertung verwendet, in welcher Parabraunerden zu Beginn der ackerbaulichen Nutzung auf der Zelle den Faktor 1 und Gleyböden den Faktor 0,75 erhalten.

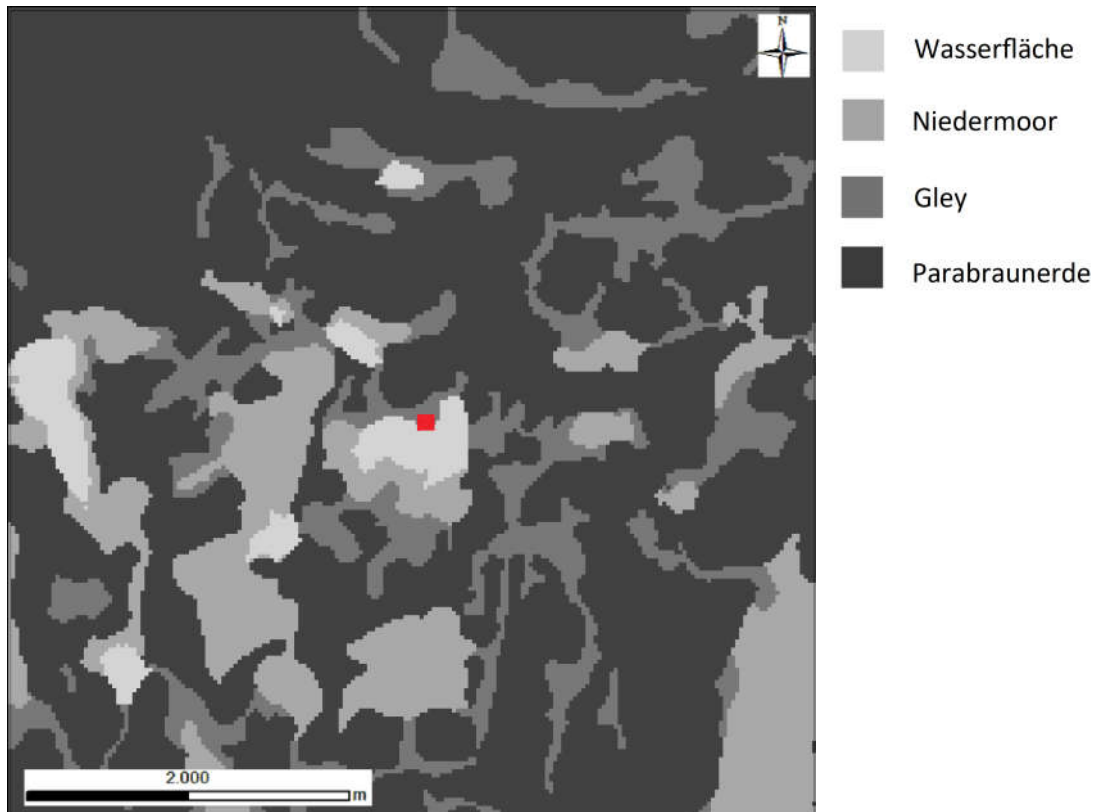


Abb. 17: Verbreitung der Bodentypen und der offenen Wasserflächen in der Modelllandschaft von WELASSIMO\_feldbau. Bodentypenverbreitung nach LGRB (2013). Im Zentrum der Flächen ist die Siedlungsstelle lokalisiert. Die Landschaft besteht aus 200x200 Zellen. Eine Zelle hat eine Fläche von 25x25 m, 4x4 Zellen entsprechen also einem Hektar

### 7.3.2.3 Die Ökosysteme

Die Rekonstruktion des natürlichen Ökosystems der Zellen geht in der Grundversion des Modells von der Annahme eines bei Beginn der Besiedlung anthropogen unbeeinflussten Gebietes aus. Unter Rückgriff auf Rösch et al. (2014), Kerig und Lechterbeck (2004, S. 224) und Lang (1990) wurden vier Ökosystemtypen gemäß den vermutlich dominierenden Vegetationseinheiten definiert, die sich auf die vier Kategorien der Bodentypenverbreitung beziehen (siehe Tab. 7). Dies sind Buchenmischwald auf Parabraunerden, Erlen-Eschenwald auf Gleyböden, Erlenbruchwald oder offene Niedermoorvegetation auf Niedermoor, und See auf Wasserfläche. Die genaue Artenzusammensetzung in den Waldökosystemen wurde nicht verfolgt, weil sie für die Fragestellung von WELASSIMO\_feldbau nicht relevant ist; eine allgemeine Beschreibung der vermutlich relevanten Ökosysteme im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraumes ist in Kap. 3.4 zu finden. Dagegen ist das Bestandesalter der Zellen von Bedeutung, weil es die Waldentwicklungsphasen definiert, und damit die Frage wie alt, dick und dicht stehend die Bäume auf der Zelle sind. Dadurch weisen die Zellen eine unterschiedliche Eignung für den Brandfeldbau auf, wie unter Kap. 7.3.4.1 erläutert. Das räumliche Mosaik der Waldentwicklungsphasen (siehe Kap. 3.4.1) wird während des Setups wie folgt erzeugt: Zunächst werden die Zellen mit Buchen- und Erlen-Eschenwald in Bestände von 0,06-1 ha Größe zusammengefasst. Nach Mayer und Neumann (1981, S. 121) wird für die Gesamtdauer eines Zyklus der Waldentwicklung der mittlere Wert von 500 Jahren verwendet; die Flächenanteile der Bestände in den jeweiligen Entwicklungsphasen von 8% - 36% werden ebenfalls direkt aus der Studie übernommen (siehe Tab. 8). Die Dauer der Phasen und das Alter bei Phasenübergang berechnen sich aus dem Prozentwert des Flächenanteils.

Tab. 8: Dauer und Flächenanteil von Waldentwicklungsphasen im Urwald „Rothwald“ (nach Mayer und Neumann 1981). Die kursiven Spalten sind Berechnungen anhand der Originaldaten zur Verwendung in WELASSIMO\_feldbau

Entwicklungsphase	Alter (Jahre)	Flächenanteil (%)	<i>Dauer der Phase (Jahre)</i>	<i>Alter bei Phasenübergang (Jahre)</i>
Verjüngung	25-50	8	<i>40</i>	<i>40</i>
Initial	40-110	8	<i>40</i>	<i>80</i>
Optimal	100-280	28	<i>140</i>	<i>220</i>
Terminal	330-480	36	<i>180</i>	<i>400</i>
Zerfall	400-600	20	<i>100</i>	<i>500</i>
Gesamt	600	100	<i>500</i>	

### 7.3.3 Die menschliche Besiedlung zum Zeitpunkt t=0

#### 7.3.3.1 Die Modellhäuser

Im Zentrum der Modelllandschaft befindet sich eine neu errichtete Siedlung mit identischen Modellhäusern. Die Anzahl der Häuser kann 1 bis 100 betragen. Innerhalb dieses Wertebereiches befindet sich die große Mehrheit der archäologisch dokumentierten Fälle; der Mittelwert der Hauszahlen liegt bei 35 Häusern pro Siedlung (Ebersbach 2010a S. 86 ff.). Die Häuser werden von je 6 standardisierten Personen mit einheitlichem Kalorienbedarf von 2000 kcal pro Tag bewohnt, was einem Jahreskalorienbedarf von insgesamt 4.380.000 kcal entspricht. Dieser Wert ist eine Annahme; es gibt keine verlässliche Möglichkeit, aus der (häufig gut dokumentierten) Hausgröße auf die Anzahl der Bewohner zu schließen. Auch das Arbeitspotenzial der Häuser ist mit 24 h/Tag normiert und berechnet sich aus der Annahme von zwei ganzen Arbeitskräften mit je 8 h/Tag und zwei halben Arbeitskräften mit je 4h/Tag.

Da WELASSIMO\_feldbau nur den Getreideanbau, nicht aber die übrigen Prozesse der Subsistenzwirtschaft simuliert, hat die für den Hausbau erforderliche Bauholzentnahme keinen Einfluss auf die Modellumwelt. Die feststehenden und die variablen Attribute der Häuser sind Tab. 9 zu entnehmen. Die Berechnung der variablen Attribute im Verlauf der Simulation ist in Kap. 7.3.4 erläutert.

Tab. 9: Feststehende und variable Attribute der Modellhäuser in WELASSIMO\_feldbau

Feststehende Attrib.	Einheit	Beschreibung
Bewohner	-	Jedes Haus ist von 6 normierten Personen bewohnt
Kalorienbedarf (Jahr)	kcal	$6 \cdot 2000 \cdot 365 = 4380000$
Arbeitskraft	h/Tag	24 (zwei volle à 8 h und zwei halbe à 4 h)
Variable Attribute	Einheit	Beschreibung
Getreideertrag	kg	Summe des Getreideertrags aller Felder des Hauses
Getreidevorrat	kg	$(\text{Getreideertrag} \cdot 0,9) - (100\text{kg} \cdot \text{Feldfläche}[\text{ha}])$
Feldentfernung	m	Maximale Entfernung der Felder des Hauses
„WL_1“-„WL_12“	h	Tägliche mittlere Arbeitszeitbedarf für Getreidebau für Jan-Dez



### 7.3.3.2 Die Feldfläche pro Haus

Dieser Parameter kann Werte von 0,1 bis 2 ha annehmen und gibt an, welche Fläche pro Haus jährlich mit Getreide eingesät wird. Dabei wird für die Ertragsberechnung von dicht stehenden Pflanzen ohne dazwischen liegende Lücken ausgegangen, wobei die Dichte des Getreidestandes bis heute nicht zufriedenstellend geklärt ist (Hosch und Jacomet 2004, S.133). Die spätere Verwendung eines entsprechend anzunehmenden Faktors könnte aber leicht umgesetzt werden. Alle simulierten Häuser während eines Modellaufes haben die gleiche Flächengröße. Die untere Grenze der Flächengröße von 0,1 ha entspricht einer sehr kleinen, eher als Garten zu bezeichnenden Fläche von 32x32 m, während die obere Begrenzung der Flächen von 2 ha oder 140x140 m der durchschnittlichen Betriebsgröße einer römischen Bauernfamilie oder der minimalen Betriebsgröße im Kanada des 18./19. Jahrhunderts entspricht (Kerig 2007, S. 378 nach Halstead 1995, S. 23 und Schott 1936, S.122).

### 7.3.3.3 Die Anbauverfahren

Unter Kap. 5.2 wurden die derzeit diskutierten Hypothesen zum Getreideanbau in der Untersuchungseinheit vorgestellt. Ich gehe nicht davon aus, dass diese Verfahren (oder auch nur eines davon) in der „neolithischen Realität“ auf eine standardisierte Weise regelhaft zum Einsatz kamen. Vielmehr war die räumliche und zeitliche Variabilität der Verfahren wahrscheinlich hoch, und die Parameter waren wohl viel stärker von anderen Faktoren limitiert als von einer a-priori-Festlegung auf bestimmte Werte. Beispielsweise ist die Düngeintensität durch die Verfügbarkeit von Mist und die zur Aufbringung vorhandenen Transportmöglichkeiten limitiert (Bogaard 2012, S. 33). Die Feldgröße wird sich ebenfalls nicht an Normierungen orientiert haben, sondern flexibel an die Gegebenheiten des jeweiligen Naturraumes, die Arbeitskapazität und wahrscheinlich auch an die Bedürfnisse angepasst gewesen sein.

Für den Zweck der Simulation in WELASSIMO\_feldbau habe ich dennoch vier normierte Verfahren definiert, die in idealtypischer Weise die wesentlichen Charakteristika der diskutierten Hypothesen widerspiegeln. Diese Verfahren und ihre Kürzel sind gartenähnlicher Feldbau (GB), Pflugfeldbau (PB), Brandfeldbau mit 8-jähriger Buschbrache (BB) und Brandfeldbau mit 15-jähriger Waldbrache (BW). Für GB und PB kann entweder der Verzicht auf Düngung oder Mistdüngung in Höhe von 10 t/ha angenommen werden. Die Verfahren unterscheiden sich in Hinblick auf die Permanenz des Anbaus, die Art der Düngung und die mittleren Erträge, was in Tab. 10 genauer spezifiziert ist. Für die Definition der Verfahren wurden verschiedene Quellen verwendet. Die generellen Charakteristika der Hypothese eines permanenten, gartenähnlichen Feldbaus als Modell für das Untersuchungsgebiet (GB) sind z.B. bei Brombacher und Jacomet (1997, S. 270 ff.), Hosch und Jacomet (2004, 128 ff.), Jacomet et al. (2016) oder Maier (1999) zu finden. Für die Diskussion und die Quantifizierung von Mistdüngung während des Neolithikums sind insbesondere die Arbeiten von Bogaard (2012), Bogaard et al. (2013), Ebersbach (2002 S. 152) und Styring et al. (2016) von Bedeutung. Die frühesten sicheren Belege für Pflugbau unter Einsatz eines Ards (PB) datieren auf die Bronzezeit, also deutlich später als der Untersuchungszeitraum (Bogaard, 2011; Jacomet et al. 2016; Jacomet und Brombacher 2009; Rösch et al. 2014). Dennoch wird das Verfahren hier berücksichtigt, um eine breitere Vergleichsbasis zu ermöglichen.

Für die Definition der Verfahren BB und BW sind die Publikationen von Ehrmann et al. (2014, 2009) und Rösch et al. (2002) über ihre Experimente zu Brandfeldbau als Modell für die Feuchtbodensiedlungen von hoher Bedeutung, aber auch Arbeiten aus anderen Kontexten (Jepsen et al. 2006; Kerig 2007; Smerdel 2014) sowie synthetische Darstellungen (Steensberg 1993) kamen hier zum Einsatz. Die mittleren Ertragsleistungen in den jeweiligen Verfahren sowie der Einfluss von Witterungs-

schwankungen, Höhenlage und Bodenfruchtbarkeit wurden unter Verwendung der Ergebnisse aus Kap. 5 festgelegt; der Einfluss des Bodentyps auf den mittleren Ertrag stellt eine Annahme dar. Für alle Anbausysteme gehe ich von Wintergetreide aus, d.h. es wird im Herbst eingesät und im Hochsommer geerntet. Der Anteil von Wintergetreide beträgt in den von Bogaard et al. (2013) analysierten Getreidefunden mindestens 80%, und auch Jacomet et al. (1989 S.142) schreiben ihm bereits eine relativ hohe Bedeutung zu.

Tab. 10: Eigenschaften der in WELASSIMO\_feldbau simulierten Getreidebauverfahren. Die jeweiligen Ertragsdaten und die Quantifizierung der Abnahme der Feldfruchtbarkeit sind den Ergebnissen von Kap. 6 entnommen. Die agronomischen Details zu Aussaat, Bodennutzung und Brachdauer sind eigene Annahmen, die sich an entsprechenden Publikationen orientieren (Jacomet et al. 1989; Kerig 2007; Ehrmann et al. 2009, 2014; Rösch et al. 2002; Steensberg 1993)

Anbauverfahren	Beschreibung
Pflugbau (PB), Mistdüngung optional (10 t/ha/a)	Extensives Verfahren, Feldbestellung mit dem Ard, breitwürfige Aussaat, permanenter Anbau; mittlerer Ertrag 0,88 bzw. 1,52 t/ha/a (ohne bzw. mit Düngung); wetterbedingte Standardabweichung von 30%, Anbauflächen der Häuser zusammenhängend auf Parabraunerden, Abnahme der Bodenfruchtbarkeit berechnet nach $y = -0,211\ln(x) + 1,0934$
Gartenähnlicher Feldbau (GB), Mistdüngung optional (10 t/ha/a)	Intensives Verfahren, Feldbestellung mit der Hacke, Einzellocksaat, permanenter Anbau; mittlerer Ertrag 1,1 bzw. 1,9 t/ha/a (ohne bzw. mit Düngung); wetterbedingte Standardabweichung von 27%, Anbauflächen der Häuser separiert auf Parabraunerden, Abnahme der Bodenfruchtbarkeit berechnet nach $y = -0,151\ln(x) + 1,5226$
Brandfeldbau mit 8-jähriger Buschbrache (BB)	Arbeits- und flächenintensives Verfahren, jährliches Verlegen der Felder auf neue Flächen mit geeigneter Vegetation für das Brandverfahren, Brachdauer 8 a, Anbau auf Frisch eingeschlagenen und überbrannten Flächen, Einzellocksaat; mittlerer Ertrag 2,24 t/ha/a ; wetterbedingte Standardabweichung von 22%, Anbauflächen zerstreut auf Gley oder Parabraunerden, keine Abnahme der Bodenfruchtbarkeit
Brandfeldbau mit 15-jähriger Waldbrache (BW)	Wie BB, aber Brachdauer 15 a und mittlerer Ertrag 2,6 t/ha/a

#### 7.3.3.4 Annahmen zur Arbeitsbelastung für Feldbau im Jahresverlauf

In Tab. 11 und Tab. 12 sind die in WELASSIMO\_feldbau verwendeten Annahmen zur Terminierung der agrarischen Tätigkeiten für die Verfahren PB und GB bzw. BW und BB angegeben. Die Annahmen für die jeweilige Arbeitsmenge sind Tab. 13 zu entnehmen. Die Daten sind an entsprechenden Publikationen orientiert (insbesondere: Ehrmann et al. 2014, 2009; Jepsen et al. 2006; Kerig 2007), jedoch wird auf die detaillierte Bezugnahme auf agrarhistorische oder ethnologische Quellen und die Bezugnahme auf konkrete Literatur hierfür bewusst verzichtet. Dies ist damit begründet, dass die diesbezügliche Datenlage im besten Fall informierte Spekulationen über arbeitsökonomische Fragen in Bezug auf eine bestimmte Zeitspanne im Jung- oder Endneolithikum erlaubt, aber keine verlässlichen Rekonstruktionen. Daher soll der modellhafte Charakter betont und nicht der Versuch unternommen werden, eine „Realität“ wiederzugeben. In manchen Fällen handelt es sich bei den Daten auch um eigene Annahmen, die dann als solche gekennzeichnet sind.

Ein Arbeitstag entspricht in meinen Berechnungen durchschnittlich 8 Arbeitsstunden. Ein Haus verfügt standardisiert über zwei volle und zwei halbe Arbeitskräfte, hat also insgesamt eine tägliche Arbeitskapazität von 24 Stunden. Die tägliche Arbeitsbelastung wird in WELASSIMO\_feldbau für jeden Monat separat ermittelt, indem die Summe der erforderlichen Arbeitstage für die jeweilige Tätigkeit in Abhängigkeit vom Anbauverfahren und der Feldgröße unter Verwendung von Tab. 13 ermittelt und dann durch die Anzahl der jeweils zur Verfügung stehenden Tage nach Tab. 11 und Tab. 12 geteilt wird. In GB und PB muss zunächst im Zeitraum von Dezember bis Februar des Jahres 0 eine Fläche Wald gerodet und diese von März bis Juni intensiv für die Feldnutzung vorbereitet werden; um diese dann auch mit dem Pflug statt nur mit der Hacke bearbeiten zu können, ist eine gründlichere Beseitigung von Wurzeln und Stubben erforderlich (z.B. Ebersbach 2002 S. 136). Daher wird der experimentell für GB ermittelte Wert für PB willkürlich verdoppelt.

In BW und BB muss jedes Jahr im Winter eine neue Fläche eingeschlagen werden. Nach Ehrmann et al. (2009, S. 51) nimmt der Arbeitszeitbedarf für das Fällen mit der Dicke der Bäume überproportional zu; daher werden die Arbeitszeitangaben für einen 8- und einen 15-jährigen Bestand sowie für einen entwickelten Hochwald angegeben. Für den Hochwald wird nochmals differenziert zwischen dem Rodungszweck GB/PB und dem Rodungszweck BW/BB. Im ersten Fall wird wegen der Langfristigkeit der Investition unabhängig von der Stärke der Bäume im Bestand gerodet, was sich im doppelten Arbeitszeitbedarf niederschlägt. Im zweiten Fall werden nur Bestände berücksichtigt, die sich in der Verjüngungs-, der Initial-, oder der Terminalphase befinden. Das Vorbereiten der zu brennenden Fläche durch Entasten der gefällten Bäume bei BW und BB ist nach Ehrmann et al. (2009, S. 70) eine ähnlich zeitintensive Tätigkeit wie das Fällen der Bäume selbst und kann von März bis Juni durchgeführt werden. Im April, Mai und Juni müssen die im Vorjahr eingesäten Felder gejätet werden, was wegen der Unterdrückung der Kräuter besonders im ersten Jahr nach dem Brand bei BB und BW wesentlich weniger Zeit beansprucht als bei GB und PB. Der Juli steht für die Ernte zur Verfügung, außerdem wird bei GB im Juli und August die erforderliche Menge an Laubheu für die Überwinterung der Rinder gewonnen (bei BW und BB sind gar keine Rinder für den Feldbau erforderlich, und bei PB wird das Zuggespann gemeinschaftlich versorgt, weswegen die Arbeitskosten pro Haus gering sind und hier nicht aufgeführt werden).

Im August und September werden die vorbereiteten neuen Anbauflächen mit der Brandwalzentechnik überbrannt, bzw. bei GB/PB das Saatbett mit der Hacke oder dem Pflug vorbereitet, und von September bis November kann das Getreide ausgesät werden. Dies erfolgt bei GB, BW und BB als Einzelkornsaat und in PB breitwürfig, was viel weniger zeitaufwändig ist. Im Oktober und November werden die Flächen eingezäunt, was bei BW und BB jedes Jahr neu erfolgen muss, während die Zäune in PB und GB in den auf Jahr 1 folgenden Jahren nur repariert werden müssen. Der Zaunbau ist ein sehr zeitaufwändiges, aber notwendiges Unterfangen auch im Brandfeldbau, um übermäßige Wildschäden zu vermeiden (z.B. Schott 1936, S. 158; Bose 1967, S.68). Bei Bauern in Vietnam wurden Tagesleistungen von 6,5 Metern Zaunbau beobachtet (Jepsen et al. 2006); diesen Wert verwende ich als Annahme für die dauerhaften Felder im Fall von PB und GB, während für die nur einjährigen und damit einfacher zu errichtenden Konstruktionen in BW und BB die tägliche Zaunstrecke verdoppelt wurde. In GB (und nur hier) ist ein täglicher Arbeitsbedarf von 20 Minuten pro Tier für die Versorgung der Rinder berücksichtigt.

Tab. 11: Annahmen zum Zeitpunkt feldbaurelevanter Tätigkeiten in WELASSIMO\_feldbau bei Anwendung von GB und PB.\*) gilt nur wenn Mistdüngung angewendet wird

Monat	Tätigkeiten
Januar	Wald auf neuen Feldflächen roden (nur Jahr 0)
Februar	Wald auf neuen Feldflächen roden (nur Jahr 0)
März	Erstmalige Bodenbearbeitung (nur Jahr 0)
April	Erstmalige Bodenbearbeitung (nur Jahr 0); Jäten
Mai	Erstmalige Bodenbearbeitung (nur Jahr 0); Jäten
Juni	Erstmalige Bodenbearbeitung (nur Jahr 0); Jäten
Juli	Getreideernte; Einbringen von Laubheu für Winterfütterung*)
August	Vorbereiten des Saatbetts (Pflug/Hacke); Einbringen von Laubheu
September	Vorbereiten des Saatbetts; Aussaat (Breitwürfig/Einzellochsaat)
Oktober	Zaunbau/Reparatur; Aussaat (Breitwürfig/Einzellochsaat)
November	Zaunbau/Reparatur Aussaat (Breitwürfig/Einzellochsaat)
Dezember	Wald auf neuen Feldflächen roden (nur Jahr 0)

Tab. 12: Annahmen zum Zeitpunkt feldbaurelevanter Tätigkeiten in WELASSIMO\_feldbau bei Anwendung von BW und BB

Monat	Tätigkeiten
Januar	Neue Feldflächen einschlagen
Februar	Neue Feldflächen einschlagen
März	Entasten
April	Entasten; Jäten
Mai	Entasten; Jäten
Juni	Entasten; Jäten
Juli	Getreideernte
August	Brennen und Vorbereiten des Saatbetts
September	Aussaat
Oktober	Zaunbau; Aussaat (Einzellochsaat)
November	Zaunbau/Reparatur; Aussaat (Einzellochsaat)
Dezember	Neue Feldflächen einschlagen

Tab. 13: Flächenleistung bzw. Arbeitsdauer für Tätigkeiten des Getreideanbaus, wie in WELASSIMO\_FELDBAU verwendet. \*) in der linken Spalte ist der Zeitbedarf für einmaliges Pflügen angegeben; dieser Wert wird in der rechten Spalte modifiziert, da jede Fläche 3-4 mal gepflügt werden muss. Quellen: 1) Kerig 2007 2) Ehrmann et al. 2009 3) Jepsen et al. 2006 4) Eigene Annahmen. Lfm = Laufende Meter; y = Anzahl Rinder pro Haushalt

Tätigkeiten	Arbeitsleistung pro Arbeitskraft pro Einheit	Arbeitsdauer (Tage pro ha)
Erreichen der Flächen	12 min / km <sup>4)</sup>	
Roden der Flächen Hochwald (GB, PB)	16 m <sup>2</sup> / Tag <sup>2)</sup>	625
Roden der Flächen Hochwald (BW, BB)	32 m <sup>2</sup> / Tag <sup>2)</sup>	313
Roden Bestand 15a (BW, BB)	50 m <sup>2</sup> / Tag <sup>2)</sup>	200
Roden Bestand 6 a (BW, BB)	75 m <sup>2</sup> / Tag <sup>4)</sup>	133
Entasten (BB/WB)	38 m <sup>2</sup> /Tag <sup>2)</sup>	260
Erstmalige Bodenbearbeitung (GB)	16 m <sup>2</sup> / Tag <sup>2)</sup>	620
Erstmalige Bodenbearbeitung (PB)	8 m <sup>2</sup> / Tag <sup>4)</sup>	1240
Saatbettvorbereitung Brennen (BW, BB)	100 m <sup>2</sup> /Tag <sup>2)</sup>	100
Saatbettvorbereitung Pflug (PB)*	1800m <sup>2</sup> / Tag <sup>1)*</sup>	21*)
Saatbettvorbereitung Grabscheit (GB)	350 m <sup>2</sup> / Tag <sup>1)</sup>	29
Aussaat Breitwürfig (PB)	1000 m <sup>2</sup> / Tag <sup>2)</sup>	10
Aussaat Einzelkorn (GB, BW, BB)	71 m <sup>2</sup> / Tag <sup>2)</sup>	142
Zaunbau	6,5 lfm / Tag <sup>3)</sup>	62
Zaunreparatur (GB, PB)	65 lfm / Tag <sup>4)</sup>	6
Jäten der Flächen (GB/PB)	200 m <sup>2</sup> /Tag <sup>2)</sup>	50
Jäten der Flächen (BW/BB)	1000 m <sup>2</sup> /Tag <sup>2)</sup>	10
Ernte der Flächen	300 m <sup>2</sup> /Tag <sup>1)</sup>	33
Tägliche Versorgung der Rinder	(1 + 0,2*y) h / Tag <sup>4)</sup>	-
Einbringen von Winterfutter	-	5 pro Rind <sup>1)</sup>

### 7.3.4 Der Ablauf der Simulation im Detail

In den folgenden Kapiteln wird der Ablauf der Simulation im Detail vorgestellt. Siehe Abb. 16 für die Abfolge der Prozesse.

#### 7.3.4.1 Wahl der Feldflächen

In Abhängigkeit vom gewählten Anbauverfahren und der Feldgröße wird die Wahl der Feldflächen wie folgt simuliert: Die Notwendigkeit ist bei BW und BB in jedem Jahr gegeben, bei GB und PB nur in Jahr eins. Dies drückt den grundlegenden Unterschied zwischen den „shiftenden“ und den permanenten Verfahren aus. Jede Zelle muss „frei“ sein, es darf also kein anderes Feld darauf vorhanden sein. Die Anzahl der auszuwählenden Zellen wird durch den Parameter Feldfläche festgelegt: eine Zelle misst 25x25m = 0,0625 ha; durch Rundung wird also bei Anwahl einer Feldfläche von 0,1 ha eine Zelle als Feldfläche gewählt. Bei einer Feldfläche von 1 ha sind 16 Zellen à 25x25m erforderlich. Bei BW und BB wird die so ermittelte Fläche um den Faktor vier erhöht, weil die auf einer Fläche

wachsende Menge Holz nur zum Überbrennen von je einem Viertel dieser Fläche ausreicht (Ehrmann et al. 2009 S. 58).

Bei PB und GB ist die Wahl des Bodentyps Parabraunerde obligatorisch, weil er regional den produktivsten Feldstandort darstellt (siehe dazu Jacomet et al. 2016, S. 4) während bei BW und BB Flächen sowohl mit Parabraunerden als auch mit Gley gewählt werden können. Dies spiegelt die Annahme wider, dass bei den Brandverfahren der Bedarf an geeignetem, schwachem Holz einen wichtigeren Faktor darstellt als die geringere Ertragsleistung auf Gley, weil diese durch die brandbedingt sehr hohe Nährstoffverfügbarkeit teilweise ausgeglichen werden kann (Ehrmann et al. 2014 S. 17).

Bei BW und BB muss ein für das Verfahren geeigneter Waldbestand auf der Zelle wachsen. Dies ist entweder bei Sekundärwaldbedeckung mit einem Mindestalter der Vegetation von 8 Jahren (BB) bzw. 15 Jahren (BW) der Fall, oder bei Primärwaldbedeckung in der Initial-, Verjüngungs- oder Zerfallsphase gegeben, nicht aber in der Optimal- und der Terminalphase (diese Werte stellen Annahmen dar). Hier sind die Bäume dicker und höher als in der Initial- oder Verjüngungsphase, wodurch sie wesentlich aufwändiger zu fällen sind (Ehrmann et al. 2009 S.52) und auch nicht das erforderliche schwache Holz für die Brandverfahren liefern (siehe auch Kap. 3.4). Darüber hinaus ist der Kronenschluss dichter und die Bäume sind vitaler als in der Zerfallsphase, wodurch sich auch keine nutzbaren Lücken im Bestand anbieten. Dadurch sind von einer durch Primärwald bedeckten Fläche nur 35% direkt für die Anwendung von Brandfeldbau geeignet, während 65% in der Optimal- oder der Terminalphase und damit ungeeignet sind (siehe Tab. 8). Bei GB und PB wird die Waldentwicklungsphase wegen der Langfristigkeit der Investition nicht als Ausschlusskriterium für die Flächenwahl betrachtet.

In beiden permanenten Anbauverfahren sind die Feldflächen der jeweiligen Häuser zusammenhängend, bei BB und BW muss dies nicht gegeben sein – es können auch isoliert gelegene, einzelne Zellen genutzt werden. Damit ist die hohe Bedeutung einer für den Brand geeigneten Vegetationsbedeckung auf den Zellen berücksichtigt. Bei GB muss ein Mindestabstand zwischen den Feldern der einzelnen Häuser eingehalten werden, bei PB ist dies nicht der Fall. Erstere Annahme drückt die von Dieckmann (Dieckmann 1990, S. 100; Dieckmann et al. 1997, S. 17) und Maier (1999, S. 93) beschriebene Rekonstruktion der Häuser als vermutlich eigenständige, autonome Wirtschaftseinheiten aus (diese Sichtweise wurde in den letzten Jahren hinterfragt und zumindest als allgemeingültiges Modell auch falsifiziert, z.B. Doppler et al. 2013).

Die zweite Annahme spiegelt die Hypothese, dass bei Anwendung eines Pfluges größere Flächen einen Vorteil darstellen, und dass die Zugtiere gemeinschaftlich gehalten und aufgezogen wurden (eigene Annahme). Im Pflugbau gehe ich auch pauschal von einer geringeren Bereitschaft zur Nutzung steiler Hänge aus, weshalb hier nur Flächen mit weniger als 15° Hangneigung als Felder genutzt werden; bei GB, BW und BB liegt die Grenze bei 25°. Beide Annahmen sind ohne Bezugnahme auf ethnologische Analogien selbst getroffen. Diese Werte sind im Modell als starre, absolute Grenzen definiert, während in der Realität in bestimmten Regionen Anbausysteme auf viel steileren Hängen beobachtet werden können. Da aber der Arbeitsaufwand mit steileren Hängen ansteigt und es an wenig geeigneten Flächen im Untersuchungsgebiet im Allgemeinen nicht mangelt, gehe ich davon aus, dass die Annahme der Vermeidung steiler Hänge in der Tendenz stimmt und dass in GB, BB und BW steilere Hänge bewirtschaftet werden können als in PB. Bei Erfüllung der genannten Kriterien wird immer die Zelle mit den geringsten relativen Gehzeiten gewählt (siehe Abb. 18).

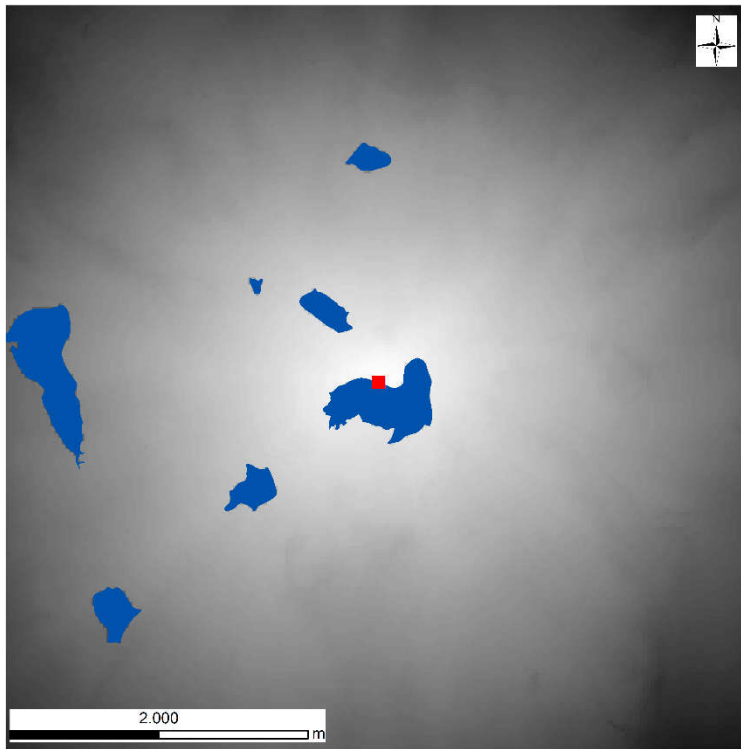


Abb. 18: Relative Gehzeitberechnung von der Siedlung aus. © LGL-Baden-Württemberg.de

#### 7.3.4.2 Getreideanbau und Ermittlung der Erträge pro Zelle

Auf den im jeweiligen Jahr gewählten Feldflächen wird Getreide angebaut, was im Modell jedoch nicht im Detail simuliert wird. Die Ertragsermittlung auf den Zellen erfolgt unter Modifikation der Mittelwerte des gewählten Verfahrens mit den in Tab. 14 angegebenen Faktoren. Die Mittelwerte für GB (gedüngt und ungedüngt: 1,91 bzw. 1,07 t/ha) sowie für BW (2,64 t/ha) sind den Ergebnissen der Ertragssimulation mit MONICA entnommen (siehe Kap. 6.3.2). Für die Errechnung der Mittelwerte in PB (gedüngt und ungedüngt: 1,53 bzw. 0,86 t/ha) wurde willkürlich ein Faktor von 0,8 auf die Werte von GB angewendet; die geringeren mittleren Erträge sind durch die Annahmen einer weniger intensiven Bodenbearbeitung und Feldpflege und breitwürfiger Aussaat begründet. Der Mittelwert bei Anwendung einer nur 8-jährigen Buschbrache in BB anstelle einer 15-jährigen Waldbrache in BW wurde unter Anwendung der Formel von Silva-Forsberg und Fearnside (1997) (siehe Kap.6.4.3) auf 2,19 t/ha errechnet.

Tab. 14: Faktoren zur Berechnung der Ernteerträge in WELASSIMO\_feldbau und Bezug zu den Szenarien (siehe Tab. 15). (1) Ungedüngt (2) Gedüngt mit 10 t Mist/ha/Jahr (3) bezogen auf 400 mÜNN, siehe Kap. 6.4.5 (3) Nur in BB und BW wird auch Gley als Feldstandort genutzt; y= zu berechnender Faktor; x= Jahr des Anbaus

Szenario	Anbauverfahren	Mittelwert (trendbereinigt) (t/ha)	Wetterbedingte Standardabweichung	Einfluss nachlassender Bodenfruchtbarkeit	Einfluss des Bodentyps <sup>(3)</sup>
S1	PB <sup>(1)</sup>	0,86	30%	$y = -21,75\ln(x) + 108,54$	Parabraunerde: 1 Gley: 0,75
S2	GB <sup>(2)</sup>	1,91	27%	$y = -10,07\ln(x) + 101,51$	
S3	BB	2,19	23%	Ohne	
S4	BW	2,64	23%	Ohne	
S5	GB <sup>(1)</sup>	1,07	30%	$y = -21,75\ln(x) + 108,54$	

Die Mittelwerte werden dann wie folgt modifiziert: Zunächst wird der Einfluss der jährlichen Witterungsschwankung der kommenden Anbauperiode auf die Getreideernte unter Anwendung der Ergebnisse aus Kapitel 6.4.5 ermittelt. Die dort ermittelte Schwankung der Jahreserträge mit einer Standardabweichung von 30%, 27% und 22% für ungedüngten Anbau, Anbau mit Mistdüngung und Brandfeldbau wurde direkt in Netlogo integriert. Dazu wird der Befehl „Random-normal“ verwendet, der um einen zu definierenden Mittelwert herum normalverteilte Werte gemäß einer ebenfalls anzugebenden Normalverteilung wiedergibt.

In den Verfahren GB und PB werden die Erträge um den Faktor der abnehmenden Bodenfruchtbarkeit mit zunehmender Dauer der Flächennutzung verringert. Die initiale Bodenfruchtbarkeit auf Parabraunerde wird mit dem relativen Faktor 1 angegeben und sinkt bei fortgesetztem Anbau um einen bestimmten Betrag, der durch Multiplikation Eingang in die Berechnung des Jahresertrages findet (Gley wird für PB und GB nicht verwendet). Die Berechnung der Abnahme der Bodenfruchtbarkeit folgt den in Formel 1 und Formel 2 auf S. 48 erläuterten Gesetzmäßigkeiten. In BB und BW wird der Einfluss des Bodentyps berücksichtigt, weil hier neben den Parabraunerden auch Gley genutzt wird. Dafür werden die Erträge pauschal mit einem Faktor von 0,75 multipliziert, während Parabraunerden generell den Faktor 1 haben. Da die Feldflächen in BB und BW jährlich verlegt werden, kommt es hier nicht zu einer Verarmung der Bodenfruchtbarkeit.

#### 7.3.4.3 Ermittlung von Getreidevorrat und Getreideanteil an der Gesamternährung

Die variablen Attribute Getreideertrag und Getreidevorrat werden in diesem Simulationsschritt aktualisiert. Der jährliche Getreideertrag eines Hauses ergibt sich aus der Summe des Getreideertrags aller seiner Getreidefelder, während der Getreidevorrat als tatsächlich verzehrfähige Summe durch Subtraktion einer Aussaatmenge für das Folgejahr in Höhe von 6,25 kg pro Zelle (=100 kg/ha) und nochmals einem pauschalen Abzug von 10% der verbleibenden Getreidemenge wegen Verlusten aller Art wie Tierfraß oder Lagerschäden berechnet wird. Aus dem Getreidevorrat ergibt sich der Beitrag des Getreides an der Deckung des gesamten Kalorienbedarfs des Hauses durch Division des Kaloriengehaltes des Getreidevorrats (1 kg Getreide ~ 3300 kcal) durch den Jahreskalorienbedarf der Häuser von 4.380.000 kcal.

#### 7.3.4.4 Ermittlung der Arbeitsmenge

Die Durchführung der agronomischen Tätigkeiten und die damit verbundenen Arbeitsmengen schlagen sich im Modell lediglich in einer Kalkulation zum Arbeitsbedarf nieder. Dieser ist pro Monat ange-



geben, da auf Jahresebene viele Details verloren gehen würden. Die Arbeitszeit ist im Modell nicht limitierend, stattdessen werden die aus den gewählten Einstellungen resultierenden Werte als Modellergebnis dokumentiert und können anschließend verwendet werden, um die Plausibilität von Feldgrößen zu diskutieren. Ein Rechenbeispiel soll das Vorgehen verdeutlichen: Zum Roden einer Fläche von 0,5 ha (5000 m<sup>2</sup>), die mit einem 15-jährigen Waldbestand bewachsen ist, werden bei einer experimentell ermittelten Tagesleistung von 50 m<sup>2</sup> (siehe Tab. 14) insgesamt  $5000/50 = 100$  Tage benötigt. Diese werden durch die Summe der für das Einschlagen neuer Feldflächen zur Verfügung stehenden Monate geteilt (siehe Tab. 13). Daraus berechnet sich eine Anzahl von  $100/3 = 33,3$  Arbeitstagen à 8 h pro Monat. Daraus ergibt sich ein täglicher Arbeitsbedarf von 8,8 Stunden, die zum Roden der genannten Fläche während des Zeitraumes Dezember bis Februar geleistet werden müssen.

#### 7.3.4.5 Primärsukzession

In Kap. 7.3.2.3 und Abb. 19 ist die mosaikartige Verzahnung verschiedener Waldentwicklungsstadien beschrieben und dargestellt. Das Alter der Bestände von je 1-16 Zellen Größe schreitet mit jedem Tick um ein Jahr voran. Das Überschreiten der in Tab. 8 dargestellten zeitlichen Schwellenwerte bewirkt den Übergang in das jeweils folgende Waldentwicklungsstadium (in der Realität ist die Anzahl möglicher Entwicklungspfade höher und nicht linear; siehe Kap. 3.4). Die Auswirkung dieses Prozesses ist im Modell lediglich bei Anwahl von BB oder BW gegeben: durch das Altern der Bäume gehen zuvor in der Terminalphase befindliche Waldbestände in die Zerfallsphase über, was zu Kronenauflichtung und verstärktem Jungwuchs führt. Dadurch sind die im Modell definierten Anforderungen an für Brandfeldbau nutzbare Flächen erfüllt. Ebenso gehen auch in der Initialphase befindliche Bestände bei Erreichen des Schwellenwertes in die Optimalphase über und werden damit für die Nutzung durch Brandfeldbau ungeeignet.

#### 7.3.4.6 Sekundärsukzession

Diejenigen Zellen, die zuvor für Brandfeldbau genutzt wurden, sind in den folgenden Jahren der Sekundärsukzession unterworfen. Analog zur Primärsukzession altern auch diese Flächen mit jedem Tick um ein Jahr. Die grafische Darstellung auf den Karten (siehe Abb. 20) drückt ihr Altern aus: während aktuelle Getreidefelder rein weiß dargestellt sind, nimmt der Braunton mit zunehmendem Alter der Sekundärvegetation zu. Ab Jahr 8 wird im Modell eine für BB nutzbare buschige Vegetation angenommen, ab Jahr 15 eine für BW nutzbare Bewaldung mit jungen Bäumen. Bei Erreichen eines Alters von 50 Jahren werden die Flächen wieder wie Primärwaldflächen behandelt und gehen damit in die Initialphase über.

#### 7.3.4.7 Abnahme der Bodenfruchtbarkeit

Die Bodenfruchtbarkeit ist hier als Summe der ertragsbeeinflussenden Bodeneigenschaften der jeweiligen Zelle definiert (siehe Kap. 7.3.2.2). In GB und PB nimmt die Bodenfruchtbarkeit durch den beständigen, alljährlichen Nährstoffexport in Form von verzehrbarem Getreide ab. Die Rate dieser Abnahme ist von vielen Faktoren abhängig. Die Effekte verschiedener Erntemethoden und des Dichtstandes der Pflanzen ebenso wie Unterschiede im natürlichen Gehalt an organischer Bodensubstanz und im Mineralisierungspotential der Böden sind sehr komplex und erfordern daher eigentlich ein dementsprechendes Modell. Hier werden die unter 6.4.1 vorgestellten Ergebnisse (Formel 1 und Formel 2) verallgemeinernd verwendet, wodurch der Prozess generalisiert berücksichtigt ist. Ohne Düngung geht die Abnahme gemäß Formel 1 schneller vonstatten als bei Anwendung von Mistdüngung in Höhe von 10 t/ha (Formel 2). Der Prozess bewirkt die Abnahme des ursprünglichen Wertes der Bodenfruchtbarkeit auf Parabraunerden von 1 und geht somit in die unter 7.3.4.2 erläuterte Berechnung ein. Es wird aber darauf hingewiesen, dass die Simulation der Abnahme der Bodenfruchtbarkeit sich auf den spezifischen Boden bezieht, der in Kap 6.4.2 vorgestellt wird; um eine umfassende Aus-

sage auch für andere Böden zu ermöglichen, wäre im Idealfall ein eigenes Forschungsprojekt vonnöten.

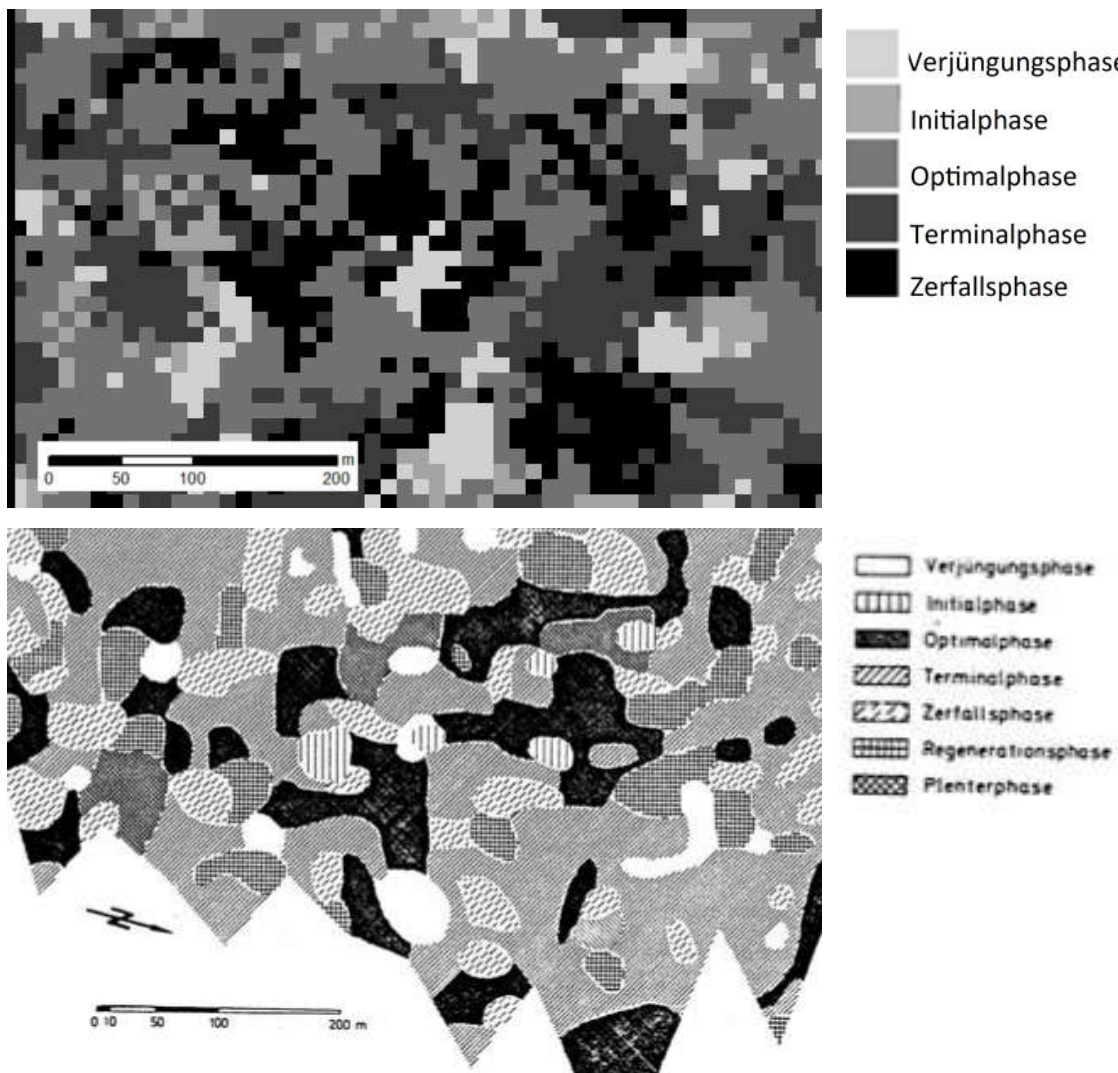


Abb. 19: Vergleich der simulierten Waldtextur in WELASSIMO\_feldbau (oben, Ausschnitt) mit einer Karte der Waldtextur in einem naturnahen Waldgebiet (unten, nach Mayer und Neumann 1981). Die Flächenanteile der jeweiligen Phasen sind identisch und orientieren sich an den in Tab. 8

#### 7.4 Ergebnisse der Simulation mit WELASSIMO\_feldbau

WELASSIMO\_FELDBAU wird im Folgenden dazu verwendet, verschiedene Eigenschaften und Auswirkungen der Anbauverfahren zu untersuchen. Unter Verwendung der in Tab. 10 beschriebenen Anbauverfahren werden 5 Szenarien (S1-S5) mit je 25 Jahren Laufzeit definiert, die in Tab. 15 zusammenfassend beschrieben sind. Gemeinsam ist allen Szenarien eine Anbaufläche von einem Hektar pro Haus, eine Aussaatstärke von 100 kg/ha, ein pauschaler jährlicher Verlust nach Ernte in Höhe von 10% der Gesamterträge und eine Siedlungsgröße von 10 Häusern. Im Anhang Kap. 13.1 finden sich zusätzlich die Ergebnisse bei Annahme von 0,1/0,5/1,5/2 ha Feldfläche pro Haus. Die folgende Diskussion bezieht sich aber wesentlich auf eine Feldgröße von 1 ha.

Tab. 15: Parameter der im Text diskutierten Szenarien. S1-S4 sind vollumfänglich dokumentiert, S5 nur in Auszügen. Alle Szenarien gehen standardmäßig von einer Siedlung mit 10 Häusern und einer Feldfläche von 1 ha aus, sofern dies im Kontext nicht anders genannt wird

Szenario	Anbauverfahren	Düngung	Aussaat	Viehhaltung erforderlich
S1	Pflugfeldbau (PB)	Ohne	Breitwürfig	Nein
S2	Gartenähnlicher Feldbau (GB)	10 t Mist/ha	Einzelkorn	Ja
S3	Brandfeldbau, Buschbrache (BB)	Brandbedingt	Einzelkorn	Nein
S4	Brandfeldbau, Waldbrache (BW)	Brandbedingt	Einzelkorn	Nein
S5	Gartenähnlicher Feldbau (GB)	Ohne	Einzelkorn	Nein

#### 7.4.1 Überblick über die Ergebnisse

Auf den Karten in Abb. 20 a) - d) ist die Ausdehnung der Feldbauaktivitäten eines Dorfes mit 10 Häusern/60 Bewohnern bei Anwendung der Szenarien S1-S4 nach 25 simulierten Jahren als Ergebnis von WELASSIMO\_feldbau abgebildet (die Szenarien sind unter 7.4.2 diskutiert). Abb. 21 a) - d) zeigt für dieselbe Simulation den jährlichen Getreideertrag eines Hauses bei einer Wiederholung in kg/ha (a), den Mittelwert jährlicher Getreideerträge eines Hauses bei 100 Wiederholungen (b), die potenzielle Deckung des jährlichen Kalorienbedarfs des betrachteten Hauses durch Getreide bei S1 und S2 (c) bzw. S3 und S4 (d). Hier sind die Ergebnisse der Simulation bei Annahme einer Feldfläche von 1 ha pro Haus und einer Siedlungsgröße von 10 Häusern dargestellt. Abb. 23 zeigt die Ergebnisse der Getreideertragssimulation in WELASSIMO\_feldbau während der ersten zehn Jahre der Simulation als Boxplot-Darstellung. Abb. 24 gibt die Entwicklung der Erträge im Verlauf von 25 Jahren in Relation zum Mittelwert der ersten fünf Jahre der Simulation an. In Tab. 16 sind die Gesamtausdehnung der menschlich überprägten Fläche, die maximale Distanz der Felder, die maximale Gehzeit zu den Feldern (hin und zurück) und die erforderliche Anzahl Kühe für eine Düngung in Höhe von 10 t/ha/Jahr angegeben. Die Tabelle stellt die Ergebnisse der Simulationen für alle oben genannten Parameterkombinationen von Siedlungsgröße und Feldfläche dar. In Tab. 17 sind für BB und BW die gleichen Daten wie in Tab. 16 angegeben, allerdings unter Annahme einer bereits seit langem für Brandfeldbau genutzten Landschaft mit einem daraus resultierenden erhöhten Anteil von für das Verfahren nutzbarer Vegetation. In Tab. 18 ist der tägliche Arbeitsbedarf für feldbaubezogene Aktivitäten in Stunden pro Haus bei Feldflächen von 0,1-2 ha und den Szenarien S1-S4 angegeben. Berechnungsgrundlage für die Werte sind Tab. 11 - Tab. 13.

#### 7.4.2 Ausdehnung der feldbaulich genutzten Fläche um die Siedlungen

Abb. 20 S1-S4 zeigt die im Verlauf von 25 simulierten Jahren entstandene Ausdehnung der für Feldbau genutzten Fläche um die Siedlungen in der ursprünglichen Waldlandschaft für die vier Szenarien. Zellen in verschiedenen Grüntönen stehen auf der Abbildung für unbeeinflusste Ökosysteme auf verschiedenen Bodentypen, weiß zeigt die aktuell für Feldbau genutzte Zellen, und der ansteigende Braunwert der Zellen in S3 und S4 steht für zunehmendes Alter der Brachflächen.

In Abb. 20 S1 wird Pflugfeldbau (PB) einer Siedlung mit 10 Häusern simuliert. Die Felder befinden sich auf Parabraunerden mit möglichst geringen relativen Gehzeiten zur Siedlung. Für PB nehme ich an, dass der Getreidebau stärker gemeinschaftlich organisiert ist als in den übrigen Verfahren und nicht jedes Haus „seine“ eigenen separaten Felder besitzt. Daher sind die Felder zusammenhängend und siedlungsnah. Da im Untersuchungsgebiet keine steileren Hänge als die 15° auftreten, die als limitierend für den Pflugeinsatz definiert wurden (siehe Tab. 10), wirkt dieser Faktor hier nicht limitierend.

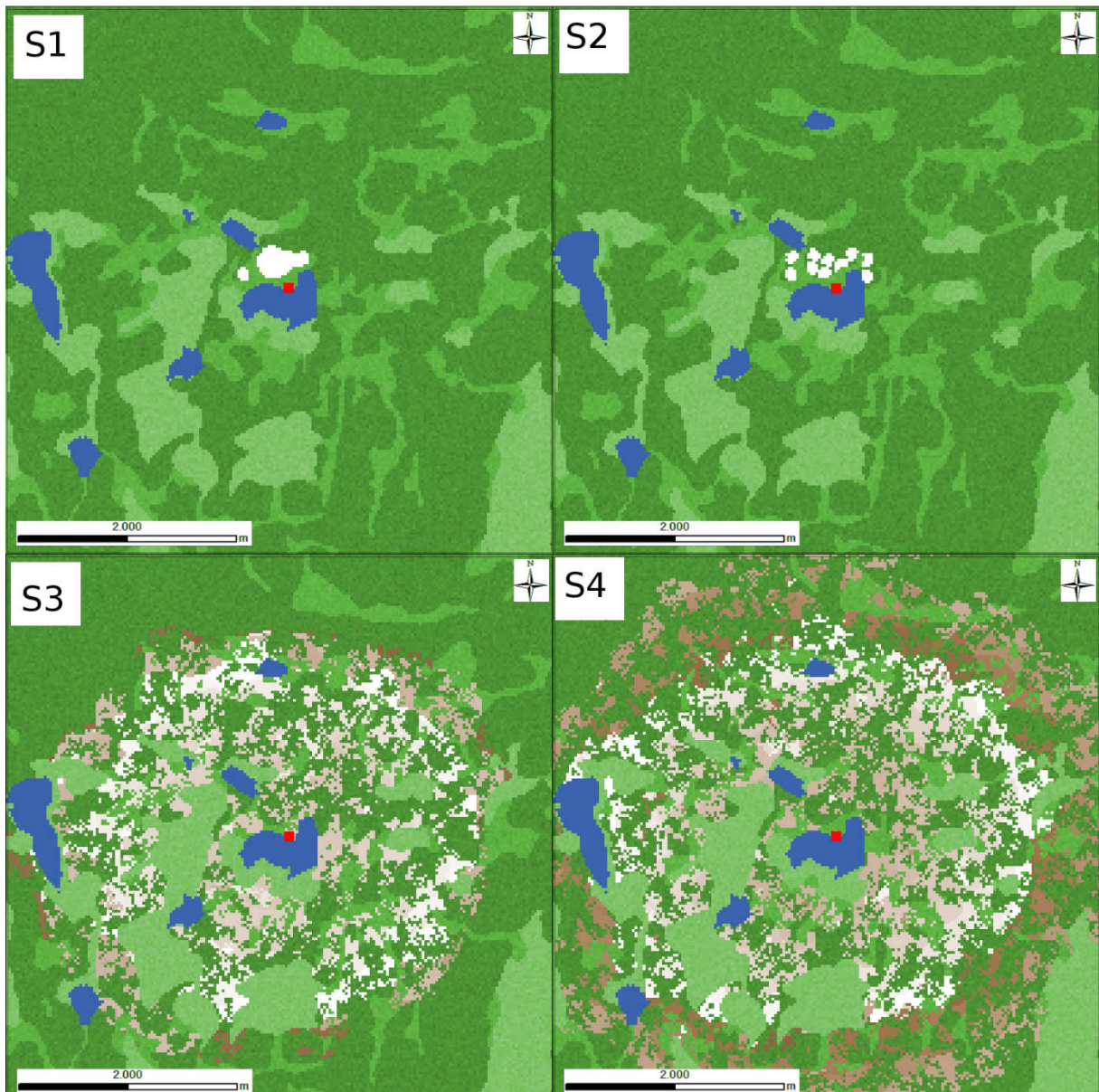


Abb. 20a-d: Ausdehnung der für Feldbau genutzten Flächen einer Siedlung von 10 Häusern bei Anwendung der Szenarien S1-S4 bei einer Laufzeit von 25 Jahren als Ergebnis von WELASSIMO\_feldbau. Die Farbgebung zeigt natürliche Waldlandschaften in Grüntönen, während weiße Flächen aktuell genutzte Feldflächen, zunehmend dunklere Brauntöne Brachflächen zunehmenden Alters zeigen. Seen sind in Blau dargestellt, die Siedlung ist mit einem roten Quadrat gekennzeichnet

In Abb. 20 S2 wird gartenähnlicher Feldbau betrieben. Auch hier befinden sich die Felder auf Parabraunerden mit möglichst geringen relativen Gehzeiten zur Siedlung. Im Gegensatz zu PB bei S1 gehe ich für GB bei S2 davon aus, dass der Feldbau stärker hausweise organisiert ist. Dies bildet sich auch in der weniger großräumigen Landnutzungsweise ab; stattdessen sind die Felder eher kleinflächig und durch Wald- oder Buschsäume voneinander getrennt.

In Abb. 20 S3 wird Brandfeldbau mit Buschbrache von 8 Jahren und jährlicher Verlegung der Felder betrieben. Die einzuschlagenden Flächen müssen bei Primärwaldbedeckung einen geeigneten jungen oder sehr alten und aufgelichteten Baumbestand haben, bei Bedeckung mit sekundärer Gebüschvegetation auf brachliegenden Flächen ein Alter von mindestens 8 Jahren aufweisen, um geeignete Dimensionen für die Brandwalzentechnik zu haben. Wie bereits angemerkt, reicht das Holz einer eingeschlagenen Fläche nur zum Überbrennen von etwa 25% dieser Fläche, weshalb eine vierfach höhere

Fläche als die eigentliche Feldfläche betroffen ist. Das resultierende Landschaftsbild nach 25 simulierten Jahren ist aufgrund dieser Annahmen von S1 und S2 deutlich verschieden. Der Radius der feldbaulichen Aktivitäten ist um ein Vielfaches größer und es entsteht eine mosaikartig verzahnte Landschaft aus aktuell genutzten Feldern, Brachflächen verschiedenen Alters und Waldflächen mit altem, dickem Baumbestand in der Optimal- oder der Zerfallsphase. Ein tendenziell ähnliches Bild ist bei Anwendung von S4 (Brandfeldbau mit Waldbrache) zu beobachten, wobei hier die Brachdauer mit 15 Jahren doppelt so hoch wie in S3 ist. Daher ist auch die im Verlauf der Simulation beanspruchte Fläche noch größer.

#### 7.4.3 Quantifizierung des Flächenbedarfs und der erforderlichen Anzahl Rinder in den Szenarien S1-S4

In Tab. 16 und Tab. 17 ist für ausgewählte Parameterkombinationen angegeben, wie groß die durch Feldbau überprägte Fläche des Dorfers von 10 Häusern ist (inkl. Brachflächen und Waldsäumen zwischen Feldern), wie weit die maximale Distanz zu den Feldern ist, welche maximale Gehzeit (hin und zurück) zum Erreichen der Felder erforderlich ist, und – für Szenario S2 – wie viele Kühe pro Haus erforderlich sind, um die eingestellte Flächengröße mit der angenommenen Dungmenge von 10 t/ha düngen zu können. Die Ergebnisse sind für Feldflächen von 0,1-2 ha und Siedlungsgrößen von 10, 50 und 100 Häusern berechnet; die Daten für die oben beschriebenen Szenarien S1-S4 mit angenommener Feldfläche von 1 ha und einer Siedlungsgröße von 10 Häusern sind fett umrahmt. Die Daten sind Ergebnisse nur eines Simulationsdurchlaufes, stellen also keine Mittelwerte dar. Dadurch kann die Schwankung der Werte begreiflich gemacht werden. Es handelt sich also um während eines Simulationslaufes realisierte Beispiele, nicht notwendigerweise um die häufigsten Werte.

Für die Brandverfahren ist zwischen zwei Landschaftselementen unterschieden worden: In Tab. 16 sind die Ergebnisse unter Annahme der initialen, menschlich unbeeinflussten Waldlandschaft berechnet. Diese ist durch ein Mosaik aus verschiedenen Waldentwicklungsphasen gekennzeichnet. Weil sich der Wald auf etwa 65% der Fläche in der für das Brandverfahren ungeeigneten Optimal- oder Terminalphase befindet (siehe Tab. 8), können nur 35% der Fläche überhaupt genutzt werden; die anderen Waldbestände sind schlichtweg zu dick, um für das Verfahren in Frage zu kommen.

In Tab. 17 wird eine Landschaft angenommen, die seit Jahrhunderten durch Brandfeldbau geprägt ist und in der daher keine alten Waldbestände mehr vorhanden sind; alle feldbaulich geeigneten Flächen sind mit Sekundärvegetation in verschiedenen Altersstufen bestanden, wodurch die Felder ohne dazwischenliegende Primärwaldbestände dichter beieinander liegen. In beiden Tabellen ist für BB und BW je ein unterer und ein oberer Wert angegeben, der sich auf die Jahre 1 und 8 bzw. 1 und 15 bezieht. Nach Ablauf dieser Zeitspanne werden wieder die siedlungsnäheren Flächen aufgesucht, die in der Zwischenzeit der Sekundärsukzession unterworfen waren.

Wie schon aus den Abb. 20 S1-S4 erkennbar ist, unterscheiden sich die Szenarien sehr deutlich hinsichtlich ihres Flächenbedarfs. So umfasst die gesamte Fläche, die sich zwischen den weitest entfernten Feldern von je 1 ha Ausdehnung und der Siedlung von 10 Häusern befindet, in S1 und S2 ein Gebiet von 0,13 bzw. 0,17 km<sup>2</sup>, während dies bei S3 und S4 in einer primären Waldlandschaft bereits im ersten Jahr der Simulation 2,1 km<sup>2</sup> sind (Tab. 16); in einer sekundärwaldreichen Landschaft (Tab. 17) umfasst die gesamte Fläche mit 0,7 km<sup>2</sup> nur etwa ein Drittel davon. Nach dem Ablauf von 8 bzw. 15 Jahren ist wegen der jährlichen Flächenverlegung ein Gebiet von 10 -20 km<sup>2</sup> (Tab. 16) bzw. 3,4-6,7 km<sup>2</sup> (Tab. 17) erforderlich, um ausreichend neue Feldflächen mit den für das Brandverfahren erforderlichen Eigenschaften zu beinhalten. Dies entspricht einem Verhältnis des Flächenbedarfs der permanenten Verfahren und der Brandverfahren von 1:26-1:39 in einer sekundärwaldreichen Landschaft, und einem Verhältnis von 1:76-1:117 in einer Landschaft, die ausschließlich mit Primärwald bedeckt ist. Allerdings wird nur ein Bruchteil dieser Fläche von aktuell genutzten Getreidefeldern bedeckt, während Brachflächen auf ehemaligen, aufgelassenen Feldern und – in Tab. 16 – ungeeignete Waldbestände mit dicken Bäumen den Großteil der Fläche ausmachen.

Die großen Unterschiede zwischen den Szenarien zeigen sich auch in den maximalen Distanzen der Feldflächen von 0,5 km bei S1 bzw. S2 und 1-2,9 km (Tab. 16) bzw. 0,7-2,2 (Tab. 17) bei S3 und S4 aus, ebenso wie in der erforderlichen Gehzeit zu den weitest entfernt gelegenen Feldern (hin und zurück) von 11 und 12 Minuten für S1 und S2, und 23-70 Minuten (Tab. 16) bzw. 14-43 Minuten (Tab. 17) für S3 bzw. S4. Diese Werte liegen für Siedlungen von 50 bzw. 100 Häusern und größere Feldflächen natürlich nochmals deutlich höher, wie in den diskutierten Tabellen ersichtlich ist, so dass bei einer Feldfläche von 2 ha und 100 Häusern in Szenario S4 nach 25 Jahren Simulation Maxima von 394 km<sup>2</sup> (Tab. 16) bzw. 132 km<sup>2</sup> (Tab. 17) Gesamtfläche und Distanzen von 13 und 9 km mit einer Gehzeit von 5h 30 min bzw. 3h 40min erreicht werden. Die Anzahl Rinder pro Haus, die in S2 benötigt wird, um durch Streckung ihres Mists mit Streu und Abfall eine Düngung mit 10 t/ha zu ermöglichen, liegt für Feldflächen von 0,1 / 0,5 / 1 / 1,5 / 2 ha bei 0,7 / 3,3 / 6,7 / 10 / 13,3 Tieren.

Tab. 16: Gesamtausdehnung der menschlich durch Feldbau überprägten Fläche, maximale Distanz der Felder, maximale Gehzeit zu den Feldern (hin und zurück), und die erforderliche Anzahl Kühe pro Haus für eine Dungmenge in Höhe von 10 t/ha /Jahr. Die Ergebnisse sind unter Verwendung der Szenarien S1-S4 für Siedlungsgrößen von 10/50/100 Häusern bei Annahme einer menschlich zuvor unbeeinflussten Waldbedeckung dargestellt. Bei BW und BB sind jeweils die Werte für das erste bzw. letzte Jahr des Brandrodungszyklus angegeben (Jahre 1 und 15 bzw. 1 und 8, siehe Kap. Fehler: Verweis nicht gefunden

		Siedlungsgröße											
		10 Häuser				50 Häuser				100 Häuser			
Feldfläche	Anbauverfahren	10 Häuser			Rinder Erforderlich für	50 Häuser			Rinder Erforderlich für	100 Häuser			Rinder Erforderlich für
		Fläche für Feldbau (km <sup>2</sup> )	max. Distanz der Felder (km)	max. Gehzeit zu den Feldern (min)		Fläche für Feldbau (km <sup>2</sup> )	max. Distanz der Felder (km)	max. Gehzeit zu den Feldern (min)		Fläche für Feldbau (km <sup>2</sup> )	max. Distanz der Felder (km)	max. Gehzeit zu den Feldern (min)	
0,1	S1	0,01	0,2	5	0	0,1	0,5	11	0	0,2	0,5	12	0
	S2	0,03	0,3	6	0,7	0,15	0,5	12	0,7	0,4	0,7	17	0,7
	S3	0,1-1,2	0,4-0,9	9-21	0	0,5-6,4	0,8-1,7	19-40	0	1,8-11	1-2,2	24-52	0
	S4	0,1-2,4	0,5-1	11-26	0	0,5-12	0,8-2,2	17-51	0	2,8-21	1-2,8	24-67	0
0,5	S1	0,05	0,3	8	0	0,4	0,6	15	0	1,2	0,9	20	0
	S2	0,1	0,5	10	3,3	0,8	0,8	18	3,3	1,7	1	24	3,3
	S3	1,4-5,9	1-1,7	25-40	0	3,8-25	1,3-3,2	31-77	0	7-51	1,9-4,6	40-110	0
	S4	1,4-11,7	0,8-2,2	20-53	0	3,8-47	1,4-4,3	33-103	0	7-104	1,8-6	42-147	0
1	S1	0,13	0,5	11	0	1,0	0,9	21	0	2,0	1	24	0
	S2	0,17	0,5	12	6,7	1,7	1	22	6,7	3,1	1,3	30	6,7
	S3	2,1-10,2	1-2,2	23-53	0	7,2-48	1,8-4,8	43-109	0	14-102	2,5-6,5	59-157	0
	S4	2,1-20	1,2-2,9	28-70	0	7,2-96	1,9-6,1	45-147	0	14-193	2,6-7,3	61-175	0
1,5	S1	0,19	0,5	12	0	1,5	0,9	21	0	2,8	1,2	28	0
	S2	0,28	0,6	13	10	2,3	1,1	26	10	4,3	1,5	34	10
	S3	2,4-16	1,2-2,7	28-65	0	9,7-72	2,1-5,6	51-134	0	19-167	2,9-7,5	69-180	0
	S4	2,4-28	1,3-3,6	30-87	0	9,7-147	2,2-7,2	53-171	0	19-291	2,8-11	68-275	0
2	S1	0,25	0,5	12	0	2,0	1,1	27	0	3,7	1,3	31	0
	S2	0,3	0,6	15	13,3	2,7	1,2	28	13,3	5,4	1,6	38	13,3
	S3	2,6-21	1,3-3,3	31-80	0	13,8-102	2,5-6,4	59-154	0	25-202	3,3-9,3	74-220	0
	S4	2,6-37	1,3-3,9	30-94	0	13,8-194	2,5-9	56-215	0	25-394	3,4-13	75-323	0

Tab. 17: Gesamtausdehnung der menschlich durch Feldbau überprägten Fläche, maximale Distanz der Felder, maximale Gehzeit zu den Feldern (hin und zurück) bei den Szenarien S3 und S4 bei Annahme einer seit langem intensiv durch Brandfeldbau geprägten Landschaft. Die Werte sind niedriger als in Tab. 16, weil flächendeckend junge, für das Brandverfahren geeignete Sekundärvegetation vorhanden ist. Wie auch in Tab. 14 sind die Werte jeweils für das erste bzw. letzte Jahr des Brandrodungszyklus angegeben (Jahre 1 und 15 bzw. 1 und 8)

		Siedlungsgröße								
		10 Häuser			50 Häuser			100 Häuser		
Feldfläche	Anbauverfahren	Fläche für Feldbau (km <sup>2</sup> )	max. Distanz der Felder (km)	max. Gehzeit zu Feldern (min)	Fläche für Feldbau (km <sup>2</sup> )	max. Distanz der Felder (km)	max. Gehzeit zu Feldern (min)	Fläche für Feldbau (km <sup>2</sup> )	max. Distanz der Felder (km)	max. Gehzeit zu Feldern (min)
0,1	S3	0,03-0,4	0,2-0,5	5-12	0,2-2,1	0,4-0,9	10-22	0,6-3,7	0,5-1,2	13-29
	S4	0,03-0,8	0,2-0,5	6-14	0,2-4	0,4-1,2	9-28	0,9-7,1	0,5-1,5	13-37
0,5	S3	0,5-2,0	0,5-0,9	13-22	1,3-8,4	0,7-1,7	17-43	2,3-17,1	1,0-2,5	22-61
	S4	0,5-3,9	0,7-1,7	11-30	1,3-15,8	1,1-3,7	18-57	2,3-34,9	1,5-4,4	23-82
1	S3	0,7-3,4	0,7-1,6	14-33	2,4-16,1	1,3-3,4	26-68	4,7-25,2	1,7-4,5	36-97
	S4	0,7-6,7	0,7-2,2	17-43	2,4-32,2	1,3-4,3	27-91	4,7-64,8	1,6-6,6	37-109
1,5	S3	0,8-5,4	0,8-1,9	17-40	3,2-24,2	1,5-3,9	31-83	6,4-56,1	2,0-5,2	42-112
	S4	0,8-9,4	0,9-2,5	20-60	3,2-49,4	1,5-5	36-118	6,4-97,7	1,9-7,7	47-190
2	S3	0,9-7,1	0,9-2,3	21-55	4,7-34,2	1,7-4,5	41-106	8,4-67,8	2,3-6,5	51-152
	S4	0,9-12,4	0,9-2,7	21-65	4,7-65,1	1,7-6,3	38-149	8,4-132,3	2,3-9,1	51-223

#### 7.4.4 Höhe der Erträge und potenzieller Beitrag des Getreides an der Kalorienversorgung in den Szenarien S1-S4

In Szenario S1 wird breitwürfig ausgesät und der Anbau erfolgt ohne Düngung. Aus Abb. 21 a) geht hervor, dass hier im Vergleich mit den drei anderen Verfahren bereits zu Beginn die geringsten Erträge erzielt werden, die im Lauf der 25 simulierten Jahre noch deutlich absinken. Die jährlichen Ertragschwankungen sind auf die Variabilität der Jahreswitterung zurückzuführen, das kontinuierliche Absinken der Erträge ist eine Folge nachlassender Bodenfruchtbarkeit. Die Erträge bei einer Anbaufläche von 1 ha liegen in den ersten zehn Jahren zwischen 430 und 1050 kg/ha (Abb. 21 a, eine Wiederholung der Simulation). Danach schwanken die Erträge bis zum simulierten Jahr 25 um Werte von 300-800 kg/ha. Das Minimum liegt im simulierten Jahr 25 mit nur 269 kg/ha. Diese Erträge sind während der ersten zwei Jahre ausreichend, um 50-70% des Jahreskalorienbedarfs der Modellhäuser zu decken (Abb. 21 c).



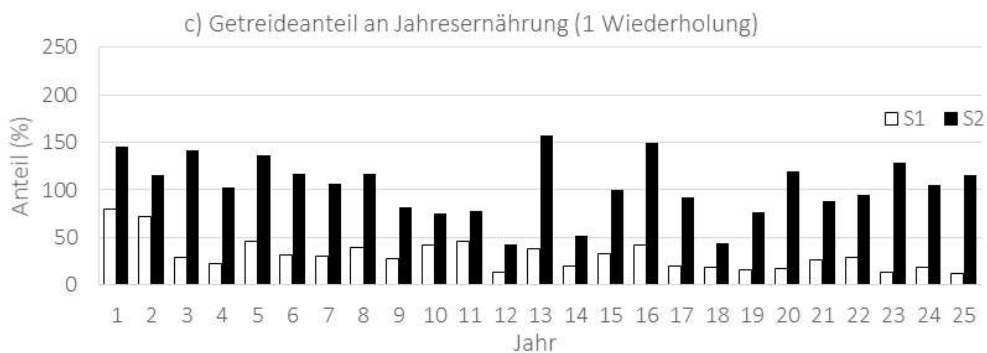
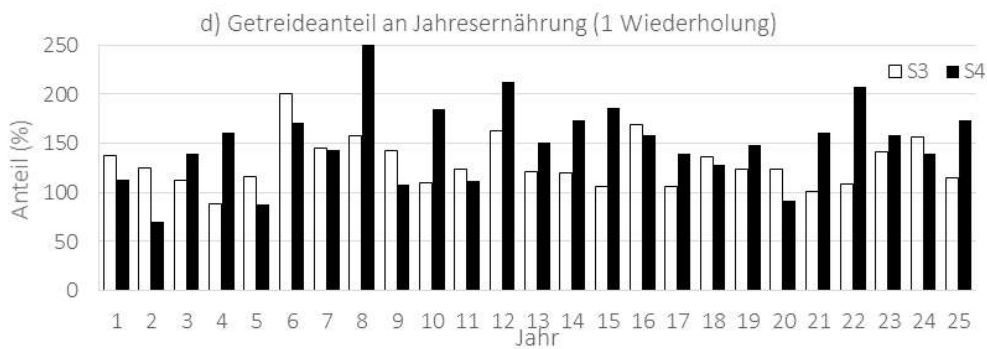
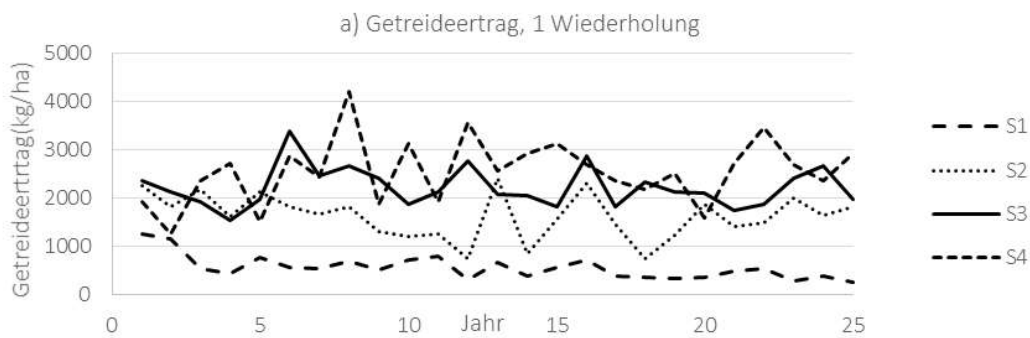
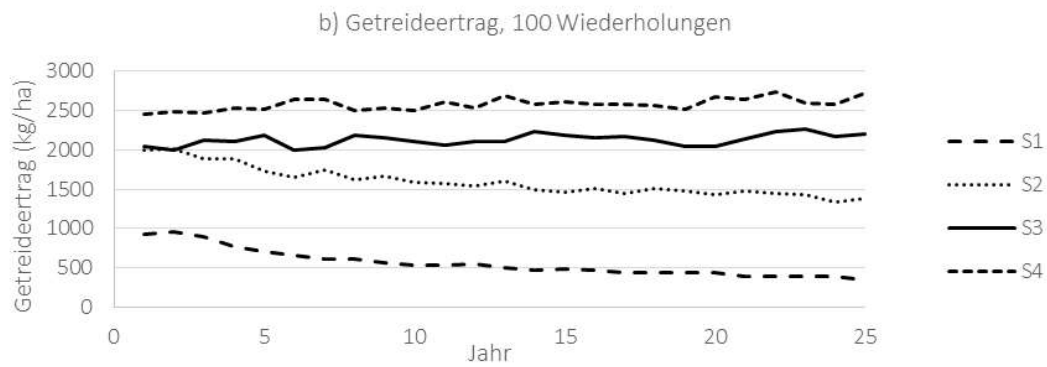
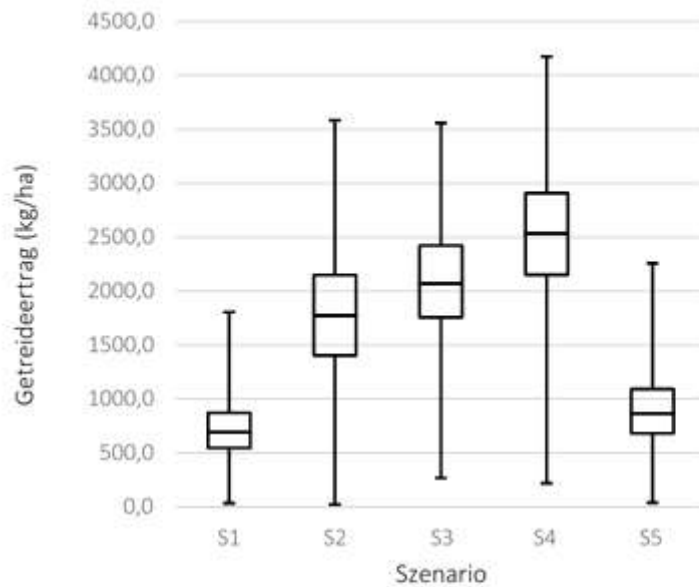


Abb. 21 a-d: In WELASSIMO\_feldbau simulierte jährliche Getreideerträge eines Hauses bei unterschiedlichen Anbauverfahren (a), Mittelwerte jährlicher Getreideerträge bei 100 Wiederholungen (b), potenzielle Deckung des jährlichen Kalorienbedarfs eines Hauses über Getreide bei Anwendung von S1 und S2 (c) bzw. S3 und S4 (d). Die Laufzeit der Simulation beträgt 25 Jahre- HINWEIS: Abb. c) und Abb. d) vertauscht!



Anbauverfahren	S1	S2	S3	S4	S5
Minimum	32	22	267	220	40
Q1	547	1403	1758	2153	683
Median	692	1776	2070	2534	865
Q3	874	2149	2422	2909	1092
Maximum	1806	3584	3559	4174	2257
Mittelwert	721	1777	2090	2528	902

Abb. 22: Boxplot-Darstellung der jährlichen Getreideerträge pro Hektar in den simulierten Jahren 1-10 bei den vier diskutierten Szenarien der Getreidebauverfahren S1-S4 sowie S5=Gartenbau ohne Düngung und die statistische Verteilung der Wert.

Für diese Berechnungen wurden die Aussaatmenge für das Folgejahr und ein pauschaler Verlust von 10% von dem Jahresertrag abgezogen und dieser Betrag anschließend durch die erforderliche Menge an Getreide in kg zur (theoretischen) kompletten Deckung des Jahreskalorienbedarfs geteilt. Aufgrund einer ungünstigen Jahreswitterung werden bereits in den Jahren 3 und 4 nur noch 27% bzw. 20% Deckung erreicht. Im Folgenden schwankt der potenzielle Getreideanteil an den Jahreskalorien zwischen 15% und 38%; im besonders schlechten Jahr 25 können nur noch 10% der erforderlichen Jahreskalorien des Hauses über Getreidebau gedeckt werden. Der Mittelwert aus den Jahren 1-10 (Abb. 24, 100 Wiederholungen der Simulation) beträgt 721 kg/ha und sinkt im Verlauf kontinuierlich ab. In Jahr 10 beträgt der Mittelwert mit 550 kg/ha noch rund 60% der ursprünglichen Erträge, und nach 25 Jahren werden mit 350 kg/ha nur noch 40% erreicht (siehe auch Abb. 21 b und Abb. 23, 100 Wiederholungen). In S2 wird jährlich mit 10 t Kuhmist pro Hektar gedüngt, es wird intensiver gejätet, und die Einsaat erfolgt mit dem Grabstock. Dies schlägt sich in höheren Getreideerträgen nieder: so werden in den ersten zehn Jahren der Simulation bei einer Wiederholung (Abb. 21 a) Werte zwischen 1200 und 2100 kg/ha erzielt. Die Erträge sinken im Verlauf der 25 simulierten Jahre leicht ab, jedoch weniger drastisch als in S1. So liegen die Werte hier meistens zwischen 1200 und 1800 kg/ha, es treten jedoch immer wieder höhere Werte von bis zu 2200 kg/ha ebenso wie deutlich niedrigere Werte von nur 750 kg/ha auf. Diese Erträge erlauben eine Deckung des Kalorienbedarfs von 100-150% während der ersten acht Jahre; danach treten vier deutlich ärmere Jahre mit nur 40-80% Deckung auf. Darauf folgen im Wechsel gute und schlechte Jahre, mit theoretischen Deckungsbeträgen von 40-140%. Bei 100 Wiederholungen liegen die Werte anfangs bei etwas über 2000 kg/ha und sinken dann kontinuierlich ab. Nach 10 Jahren werden mit etwa 1600 kg/ha im Mittel von 100 Wiederholungen noch knapp 80% der ursprünglichen Werte erreicht, nach 25 Jahren sind die Erträge auf 1300 kg/ha oder 70% abgefallen (Abb. 21 b und Abb. 23). Der Mittelwert der Jahre 1-10 beträgt 1777 kg/ha (Abb. 22).

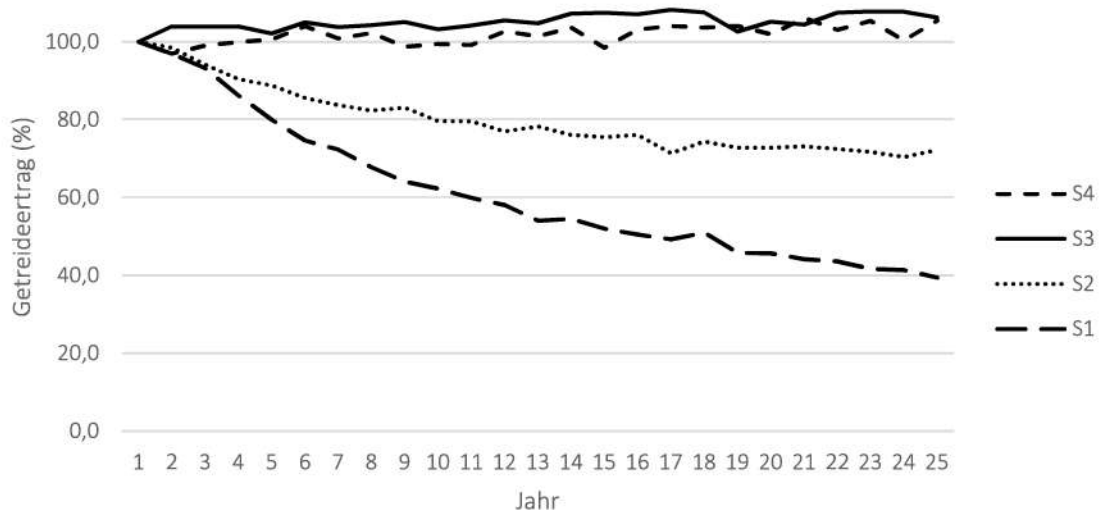


Abb. 23: Entwicklung der mittleren Erträge (100 Versuche) bei den vier in S1-S4 untersuchten Getreidebauverfahren, dargestellt in Relation zum mittleren Ertrag der ersten fünf Jahre des jeweiligen Verfahrens

In S3 werden die Felder jedes Jahr verlegt, wobei sowohl Parabraunerde- als auch Gleyböden als Feldflächen genutzt werden. Letztere haben im Modell eine pauschal verringerte Fruchtbarkeit von nur rund 75% der Parabraunerden. Aufgrund des Brandverfahrens werden dennoch hohe Erträge erzielt, die im Maximum 3300 kg/ha in Jahr 6 erreichen (Abb. 21 a). Das negative Extrem liegt bei 1550 kg/ha in Jahr 4. Diese Erträge erlauben – mit einer Ausnahme von „nur“ 90% in Jahr 4 – eine Deckung des jährlichen Kalorienbedarfs der Modellhäuser von durchweg über 100% (Abb. 21 d) mit einem Maximum von über 200%. Durch das jährliche Verlegen der Felder und die Brachdauer von 8 Jahren sind die Nährstoffe als limitierender Faktor in jedem Jahr auf gleiche Weise wirksam. Daher sind die betrachteten Schwankungen in der Kurve (Abb. 21 a) ausschließlich eine Folge der Jahreswitterung und des Anteils an weniger fruchtbarem Gleyboden an der jährlichen Feldfläche. Aus dem Grund verläuft auch die Mittelkurve der Erträge bei 100 Wiederholungen mit nur geringen Schwankungen (Abb. 21 b). Die mittleren Erträge liegen für S3 bei 2090 kg/ha (Abb. 22).

In S4 werden im Vergleich zu S3 nochmals erhöhte Erträge erzielt, die sich in Spitzenwerten von 4000 kg/ha in Jahr 8 niederschlagen. Die negativen Extremwerte liegen bei knapp 1250 kg/ha bzw. 1500 kg in den Jahren 2 und 5. Auch hier werden mit Ausnahme dieser zwei schlechten Jahre durchweg Deckungen von 100-200%, in Extremfällen bis zu 250% erreicht, und die Mittelkurve der Erträge verläuft ohne erkennbaren Trend; im Durchschnitt werden bei S4 2528 kg/ha erzielt (Abb. 22).

Im Anhang (Kap. 13.1) sind diese Daten zusätzlich für Feldflächen von 0,1/0,5/1,5 und 2 ha angegeben. Die Diagramme zeigen die simulierten Getreideerträge der Verfahren S1-S4 während 25 Jahren bei einer Wiederholung und entsprechend die potenziellen Deckungsbeträge der benötigten Jahreskalorien durch Getreide. Die Daten bestätigen im Grundsatz die bereits beschriebenen Ergebnisse: Im Mittel liefert PB ohne Düngung die geringsten Erträge, gefolgt von GB mit 19 t Mist/ha/a und BB. BW liefert im Schnitt die höchsten Erträge. Allerdings sind die hohen Mittelwerte keine Garantie gegen Ernteausfälle, so dass selbst bei 1,5 ha Feldgröße und BB in Jahr 6 bzw. 2 ha in Jahr 8 eine potenzielle Deckung von nur 68% bzw. 81% der benötigten Jahreskalorien über Getreide möglich ist. Erst bei 2 ha Feldfläche und BW werden in allen simulierten Jahren mindestens 100% potenzielle Deckung erreicht. Allerdings geht dies mit extremen Übererfüllungen des Bedarfs in guten Jahren von bis zu 500% einher.

#### 7.4.5 Quantifizierung der monatlichen Arbeitsbelastung für Feldbau in den Szenarien S1-S4

In Tab. 18 sind für die Szenarien S1-S4 und verschiedene Feldflächen die durchschnittlichen täglichen Arbeitszeiten für die in Tab. 11 und Tab. 12 dargestellten Tätigkeiten des Getreidebaus für jeden Monat des Jahres und als Jahresdurchschnitt angegeben. Die Arbeitszeiten ergeben sich aus der Multiplikation der jeweiligen Flächengröße mit den Daten zum Arbeitszeitbedarf der Tätigkeiten in den jeweiligen Anbauverfahren pro ha in Tab. 13. Die Gehzeiten sind der Transparenz halber nicht in die Berechnungen der Arbeitszeit mit aufgenommen, und müssen daher jeweils noch hinzugefügt werden. Es sind hier ausschließlich Tätigkeiten verzeichnet, die sich direkt aus den jeweiligen Szenarien bzw. Anbaumethoden ableiten lassen. So ist ausschließlich für S2 ein täglicher Aufwand für die Betreuung der Rinderherde gerechnet, weil diese hier für die Dungproduktion erforderlich ist; weder der Arbeitszeitbedarf von weiteren Subsistenzstrategien wie dem Sammeln, Jagen, Fischen etc., noch der von alltäglichen Tätigkeiten wie der Nahrungszubereitung oder der Erfüllung sozialer Aufgaben ist hier berücksichtigt. Die Tabelle ist horizontal durch gestrichelte Linien in drei Einheiten unterteilt: die obere Einheit („Jahr 0“) gibt den Arbeitszeitbedarf nur für die Szenarien S1 und S2 an, und zwar in dem Jahr der initialen Flächenöffnung. In diesem „Jahr 0“ ist sowohl die Arbeitszeit für Feldbau auf bereits etablierten Feldern als auch für die Rodung neuer Felder enthalten, da hypothetisch von einer doppelten Belastung im Jahr eines „Umzuges“ der Siedlung ausgegangen wird. Die mittlere Einheit („Jahr 1, 2, 3...“) gibt die Daten für alle Szenarien an. Für S1 und S2 wird jährlicher Anbau auf etablier-

ten, bereits geöffneten Feldern angenommen, während für die Berechnung von S3 und S4 der jährliche Einschlag von immer neuen, geeigneten Waldbeständen in Primärwald zugrunde gelegt wird. Die Angaben in der unteren Einheit („Jahr 9+/16+“) beziehen sich auf die Nutzung von Sekundärwaldflächen, wodurch insbesondere für S3 und S4 der jährliche Arbeitsbedarf für das Einschlagen der Flächen deutlich geringer wird.

Die Arbeitszeitangaben in der oberen Einheit von Tab. 18 berechnen sich aus dem erstmaligen Einschlagen einer neuen Hochwaldfläche (Dezember-Februar), der Feldvorbereitung (März-Juni) und dem Zaunbau (Oktober-November) um die neu eingerichteten Flächen PLUS den „normalen“ Tätigkeiten für den Feldbau, die in der mittleren Einheit der Tabelle angegeben sind. Daraus wird erkennbar, dass schon bei Flächengrößen von 0,5 ha die Arbeitskraft eines Hauses von 24 täglichen Arbeitsstunden nicht ausreicht, um die Rodung in dem in 7.3.3.4 angenommenen Zeitraum Dezember-Februar zu leisten. Auch in den Monaten März-Juni ist die Arbeitsbelastung durch die Flächenvorbereitung von 0,5 ha mit 22-25 Stunden in S2 absolut am Limit. Für S1 gilt das noch in verstärktem Maße, weil hier eine besonders gründliche Flächenvorbereitung angenommen wird. Insgesamt kann man aus den Daten erkennen, dass die Öffnung von Flächen größer als 0,2-0,4 ha mit den angenommenen 2 vollen und 2 halben Arbeitskräften eines Hauses kaum vorstellbar ist.

In der mittleren Einheit von Tab. 18 sind die Arbeitszeiten für die alljährlich in gleicher Weise durchzuführenden Tätigkeiten – wie unter Tab. 11 und Tab. 12 dargestellt – berechnet. Ein deutlicher Unterschied besteht vor allem zwischen den Verfahren S1 und S2 einerseits und S3 und S4 andererseits. Aus der letzten Spalte, dem über alle Monate gemittelten täglichen Arbeitszeitbedarf, wird deutlich, dass die Szenarien S3 und S4 gegenüber S2 eine 3-fach höhere Arbeitszeit erfordern, gegenüber S1 ist der Faktor sogar 8-fach. S2 hat gegenüber S1 eine doppelt so hohe Arbeitsbelastung. Diese großen Unterschiede bedingen sich durch die dargelegten unterschiedlichen Anbauverfahren und den daraus resultierenden, in 7.3.3.4 erläuterten unterschiedlichen Arbeitsbedarf.

Tab. 18: Theoretischer täglicher Arbeitsbedarf für feldbaubezogene Aktivitäten für die Szenarien S1-S4 in Stunden pro Haus bei Feldflächen von 0,1-2 ha. Berechnungsgrundlage für die Werte sind in Tab. 11, Tab. 12 und Tab. 13 angegeben. Die Angaben in „Jahr 0“ berücksichtigen den erhöhten Arbeitsbedarf für die initiale Flächenöffnung in S1 und S2. „Jahr 1,2,3...“ gibt die Ergebnisse für die in jedem Jahr erforderlichen Tätigkeiten an. „Jahr 9+/16+“ berücksichtigt zusätzlich für S3 bzw. S4 den geringeren Arbeitszeitbedarf für das Brandverfahren auf Sekundärwaldflächen. Die Angaben sind vor dem Hintergrund einer angenommenen Verfügbarkeit von 2 vollen und 2 halben Arbeitskräften für jedes Haus, also insgesamt 24 Stunden täglich, zu sehen

Jahr	Feldgröße	Szenario	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Ø Jahr	
0	0,1	S1	5,5	5,5	8,3	8,7	8,7	8,7	0,9	0	0	3,1	3,1	5,5	3,5	
		S2	5,6	5,6	4,2	4,7	4,7	4,7	1,4	0,6	0,3	3,3	3,3	5,6	2,7	
	0,5	S1	28	28	41	43	43	43	4,4	0,2	0,2	6,2	6,2	28	15,8	
		S2	28	28	21	24	24	24	7,3	3,1	1,7	7,6	7,6	28	17,0	
	1	S1	55	55	82	87	87	87	8,8	0,4	0,5	9,3	9,3	55	31,0	
		S2	56	56	43	47	47	47	15	1,1	3,3	12	12	56	33,4	
	1,5	S1	83	83	124	130	130	130	13	0,5	0,7	13	13	83	46,2	
		S2	85	85	64	71	71	71	22	9	5,1	17	17	85	49,9	
	2	S1	110	110	165	174	174	174	18	0,7	0,9	15	15	110	61,3	
		S2	113	113	85	94	94	94	29	12	6,8	19	19	113	66,1	
1,2,3...	0,1	S1	0	0	0	0,4	0,4	0,4	0,9	0	0	0,3	0,3	0	0,2	
		S2	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	1,4	0,6	0,3	0,6	0,6	0,1	0,5	
		S3	2,8	2,8	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	0,9	0,2	0,3	1,2	1,2	2,8	1,6
		S4	2,8	2,8	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	0,9	0,2	0,3	1,2	1,2	2,8	1,6
	0,5	S1	0	0	0	2,2	2,2	2,2	4,4	0,2	0,2	0,7	0,7	0	1,1	
		S2	0,7	0,7	0,7	2,9	2,9	2,9	7,3	3,1	1,7	2,1	2,1	0,7	2,3	
		S3	14	14	8,7	9,1	9,1	9,1	4,4	0,8	1,6	5,4	5,4	14	7,9	
		S4	14	14	8,7	9,1	9,1	9,1	4,4	0,8	1,6	5,4	5,4	14	7,9	
	1	S1	0	0	0	4,4	4,4	4,4	8,8	0,4	0,5	1	1	0	2,1	
		S2	1,3	1,3	1,3	5,7	5,7	5,7	15	6,1	3,3	3,8	3,8	1,3	4,5	
		S3	28	28	17	18	18	18	8,8	1,7	3,2	8,5	8,5	28	15,4	
		S4	28	28	17	18	18	18	8,8	1,7	3,2	8,5	8,5	28	15,4	
	1,5	S1	0	0	0	6,6	6,6	6,6	13	0,5	0,7	1,4	1,4	0	3,1	
		S2	2	2	2	8,6	8,6	8,6	22	9	5,1	5,6	5,6	2	6,8	
		S3	41	41	26	27	27	27	13	2,5	4,8	14	14	41	23,3	
		S4	41	41	26	27	27	27	13	2,5	4,8	14	14	41	23,4	
	2	S1	0	0	0	8,8	8,8	8,8	18	0,7	0,9	1,7	1,7	0	4,1	
		S2	2,7	2,7	2,7	12	12	12	29	12	6,8	7,2	7,2	2,7	9,0	
		S3	55	55	35	36	36	36	18	3,3	6,5	20	20	55	31,4	
		S4	55	55	35	36	36	36	18	3,3	6,5	20	20	55	31,4	
9+/16+	0,1	S3	1,2	1,2	1,7	1,8	1,8	1,8	0,9	0,2	0,3	0,9	0,9	1,2	1,2	
		S4	1,8	1,8	1,7	1,8	1,8	1,8	0,9	0,2	0,3	1,2	1,2	1,8	1,4	
	0,5	S3	5,9	5,9	8,7	9,1	9,1	9,1	4,4	0,8	1,6	5,8	5,8	5,9	6,0	
		S4	8,8	8,8	8,7	9,1	9,1	9,1	4,4	0,8	1,6	5,9	5,9	8,8	6,8	
	1	S3	12	12	17	18	18	18	8,8	1,7	3,2	10	10	12	11,7	
		S4	18	18	17	18	18	18	8,8	1,7	3,2	10	10	18	13,2	
	1,5	S3	18	18	26	27	27	27	13	2,5	4,8	14	14	18	17,4	
		S4	26	26	26	27	27	27	13	2,5	4,8	13	13	26	19,5	
	2	S3	23	23	35	36	36	36	18	3,3	6,5	18	18	23	23,1	
		S4	35	35	35	36	36	36	18	3,3	6,5	21	21	35	26,5	

Bei Annahme einer Feldfläche von 1 ha sind die erforderlichen Tätigkeiten sowohl in S1 als auch in S2 mit den vorhandenen Arbeitskapazitäten durchführbar. In den Wintermonaten ist für S1 keine Arbeit erforderlich. In S2 erfordert die Versorgung der aus der angenommenen Düngung mit 10 t/ha errechneten Anzahl von 6,7 Rindern pro Haus eine tägliche Arbeitszeit von 20 Minuten je Tier (wegen unzureichender Datenlage eigene Annahme ohne Beleg; siehe Diskussion in Ebersbach 2002, S.156) in allen Monaten des Jahres. Von April-Juni müssen die Felder gejätet werden, was zu täglichen Arbeitszeiten von 4,4 bzw. 5,7 h führt. Im Juli ist mit 8,8 bzw. 15 h die höchste Arbeitsbelastung des Jahres nötig, was durch die Getreideernte und die in S2 erforderliche Laubheugewinnung bedingt ist. Im August muss in S1 mit dem Pflügen der Felder begonnen werden, in S2 wird noch Laubheu eingebracht und ebenfalls mit der Feldbestellung durch die Hacke begonnen. Daher sind die Arbeitszeiten hier mit 0,4 bzw. 6,1 h/Tag deutlich verschieden. Dies zeigt sich in ähnlicher Relation auch in den Monaten September-Dezember, in denen die Feldbestellung vollendet wird, die Aussaat stattfindet und die Zäune repariert werden müssen. Größere Feldflächen von 1,5 und 2 ha führen insbesondere in den Sommermonaten zu Arbeitsspitzen, die im Juli in S2 auch die vorhandene Arbeitskapazität übersteigen.

Bei den Verfahren BW und BB liegen die Arbeitsspitzen durchgehend in den Monaten Dezember-Februar, weil dann in jedem Jahr neue Fläche eingeschlagen werden müssen. Bei einer Feldfläche von 1 ha sind die erforderlichen Arbeitszeiten von 28 h/Tag bereits nicht mehr durch die angenommenen Arbeitskräfte eines Hauses zu leisten. Hohe Arbeitsbelastungen von 17-18 h/Tag sind aber wegen der Entastung der eingeschlagenen Bäume und der Vorbereitung des Brandes auch in den Monaten März-Juni erforderlich. Die Ernte im Juli und das Überbrennen der neuen Feldflächen im August erfordert Arbeitszeiten von 8,8 bzw. 1,7 h/Tag, während im September für die Einzelkorn-Aussaat 3,2 h/Tag benötigt werden. Dies zieht sich bis in den November hin, der Zaunbau erfolgt in den Monaten Oktober-November, wodurch dann Arbeitszeiten von 8,5 h/Tag erforderlich sind. Diese fallen im Gegensatz zu S1 und S2 wegen der Verlegung der Flächen jährlich an. Um die Annahme einer weniger stabilen Konstruktion dieser Zäune im Vergleich mit den dauerhaft genutzten in S1 und S2 zu berücksichtigen, wurde die Arbeitsmenge im Vergleich zu den Szenarien S1 und S2 (In Jahr 0) willkürlich halbiert. Aufgrund dieser Angaben erscheint eine Flächengröße von 1 ha in S3 und S4 nicht realisierbar, vor allem wenn die übrigen, nicht feldbaubezogenen Aktivitäten in der Kalkulation berücksichtigt würden. Nicht nur die hohe absolute Arbeitsmenge, sondern auch die lange Dauer von Dezember-Juni, während derer diese hohe Arbeitsleistung erforderlich ist, lassen Flächengrößen von 0,5 ha plausibler erscheinen.

Der Einschlag in Primärwald (auch in den für BW und BB angenommenen Initial- Verjüngungs- und Optimalphasen) ist zeitintensiver als in 9- bzw. 16jährigem Sekundärwald, weshalb ab den Jahren 9 (für BB) bzw. 16 (für BW) die Arbeitsbelastung für das Einschlagen der Flächen geringer ist (untere Einheit von Tab. 18). Hier ist die Bearbeitung einer Fläche von 1 ha mit Arbeitsmengen von 12-18 h/Tag im Zeitraum Dezember-Juni verbunden. Die hier auftretenden Unterschiede zwischen S3 und S4 erklären sich aus der Annahme einer geringeren Arbeitsbelastung für die Rodung von 8-jährigem Buschland als von 15-jährigem Jungwald. Eine größere Fläche von 1,5 oder 2 ha ist in S3 und S4 aber auch hier nicht realistisch mit den genannten Arbeitskräften zu bearbeiten.

#### 7.4.6 Berechnung der Produktivität der Szenarien

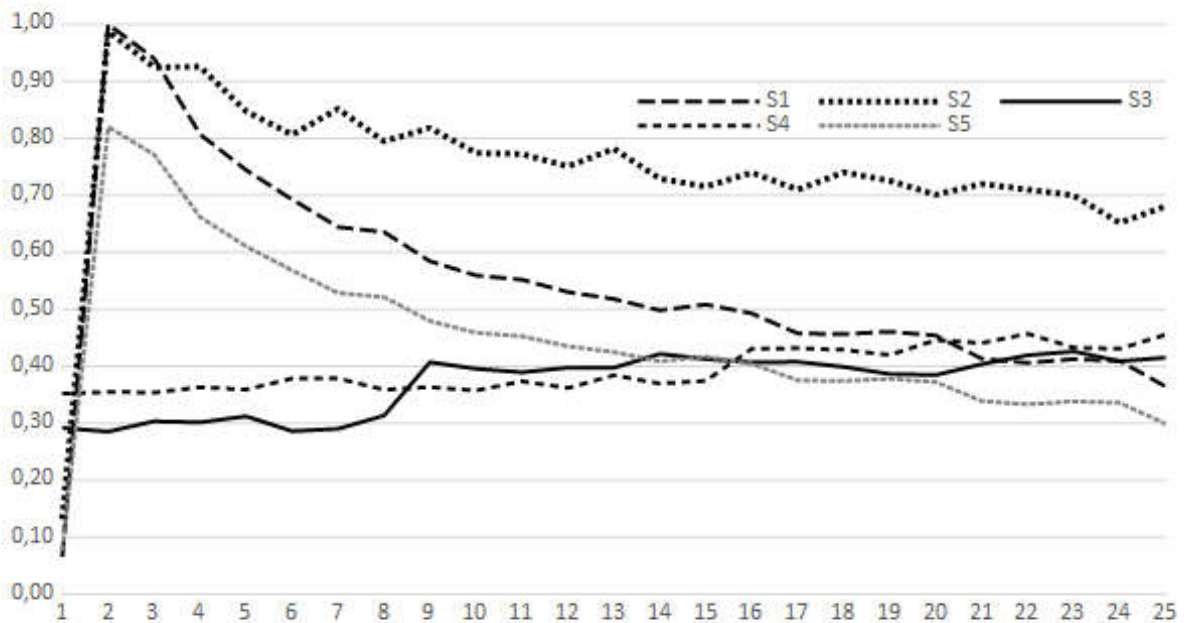


Abb. 24: Relative Produktivität der vier bisher diskutierten und eines weiteren Szenarios S5 (Gartenbau ohne Mistdüngung), dargestellt als Funktion der Dauer des Anbaus. Die jährlichen Werte berechnen sich über den Ertrag geteilt durch die durchschnittliche Arbeitsmenge des jeweiligen Verfahrens. In Jahr 1 liegen die Werte von S1, S2 und S5 wegen der sehr hohen Arbeitsbelastung für die initiale Rodung zunächst sehr tief, und steigen in Jahr 2 stark an. Dann sinkt die Kurve wegen der Abnahme der Feldfruchtbarkeit allmählich ab, während sie in BW und BB in den Jahren 15 bzw. 8 wegen der verminderten Arbeitsmenge zum Fällen der dann genutzten Sekundärvegetation sprunghaft ansteigt.



In Abb. 24 ist die Entwicklung der relativen Produktivität der diskutierten Szenarien S1-S4 und zusätzlich eines weiteren Szenarios S5 im Verlauf von 25 Jahren dargestellt. S5 ist durch Gartenbau ohne den Einsatz von Mistdüngung beschrieben. Die Erträge sind also etwas höher als bei S1 (siehe Kap. 7.3.4.2), während die Abnahme der Feldfruchtbarkeit der in S1 entspricht. Die erforderliche Arbeitsmenge orientiert sich an derjenigen von S2, wobei aber die Belastung für die Viehhaltung herausgerechnet wurde, da keine Düngung stattfindet. Die Beträge der Produktivität errechnen sich aus dem mittleren Getreideertrag jedes Jahres (bei 100 Wiederholungen) pro ha, geteilt durch den übers Jahr Abb. 24: Relative Produktivität der vier bisher diskutierten und eines weiteren Szenarios S5 (Gartenbau ohne Mistdüngung), dargestellt als Funktion der Dauer des Anbaus. Die jährlichen Werte berechnen sich über den Ertrag geteilt durch die durchschnittliche Arbeitsmenge des jeweiligen Verfahrens. In Jahr 1 liegen die Werte von S1, S2 und S5 wegen der sehr hohen Arbeitsbelastung für die initiale Rodung zunächst sehr tief, und steigen in Jahr 2 stark an. Dann sinkt die Kurve wegen der Abnahme der Feldfruchtbarkeit allmählich ab, während sie in BW und BB in den Jahren 15 bzw. 8 wegen der verminderten Arbeitsmenge zum Fällen der dann genutzten Sekundärvegetation sprunghaft ansteigt

gemittelten Arbeitsbedarf für das jeweilige Verfahren (Abb. 21 b und Tab. 18). Die Szenarien S1, S2 und S5 haben im ersten Jahr eine sehr niedrige Produktivität, was die hohe initiale Arbeitsbelastung für die Rodung der Flächen widerspiegelt. Sind diese Flächen jedoch komplett gerodet und von störenden Wurzelstubben etc. befreit (was sich in der Realität wohl über mehrere Jahre erstreckt haben mag, hier jedoch ab Jahr 2 angenommen wird), dann steigt die Produktivität stark an.

In den ersten Jahren ist die Produktivität in den Szenarien S1 und S2 ähnlich hoch, wobei die geringeren Erträge bei S1 durch die verminderte Arbeitsbelastung ausgeglichen werden. Letztere ist eine Folge der Annahme höherer Geschwindigkeit des Pflügens gegenüber dem Hacken, der breitwürfigen Aussaat anstelle von Einzellocksaat und der in S1 nicht erforderlichen täglichen Arbeitszeit für die Versorgung der Viehherde. Diese umfasst in S2 bei 1 ha Feldfläche aufgrund des Dungbedarfs von 10 t/Jahr mindestens 6,7 Tiere pro Haus (siehe Tab. 16). Ab Jahr drei aber sinken die Werte bei S1 deutlich stärker ab als bei S2, was den unterschiedlichen Raten der Abnahme der Bodenfruchtbarkeit durch unterschiedliche Düngegaben entspricht (siehe Kap. 6.4.1). So liegen die Werte in S2 nach 25 Jahren bei etwa 70% der anfänglichen Werte, und bei 45% bei S1. Die Produktivität von S5 liegt etwa 20% tiefer als die von S1; beide sinken mit der gleichen Rate ab, da in beiden Fällen keine Düngung angenommen wird. S3 hat nach 25 Jahren nur noch 30% der initialen Werte.

Die beiden Szenarien S3 und S4 weisen mit anfänglich 30 bzw. 35% des Wertes von S1/S2 eine deutlich geringere Produktivität auf. Dies hängt zuvorderst mit der sehr hohen Arbeitsbelastung durch die jährlich erforderliche Rodung und den Neubau von Zäunen um die Getreidefelder zusammen, die in den anderen Verfahren nach Jahr 1 nur mehr repariert werden müssen. In Jahr 9 bei S3 bzw. Jahr 16 bei S4 ist ein sprunghafter Anstieg der Produktivität erkennbar, der sich durch den dann einsetzenden 2. Zyklus der Flächennutzung erklären lässt. In diesem werden nach Ablauf der Brachdauer die Flächen erneut in Nutzung genommen, wodurch sich die für den Einschlag erforderliche Arbeitszeit verringert. Trotz dieser Zunahme der Produktivität erreichen die beiden Verfahren auch nach 25 Jahren nicht die Produktivität von S1 und S2, während sie die Werte von S5 etwa ab dem Jahr 15 übersteigen.

## 7.5 Diskussion der Ergebnisse

### 7.5.1 Kritische Betrachtung der Quellen- und Datenlage

Um die Aussagekraft und den Gültigkeitsbereich der beschriebenen Ergebnisse richtig einordnen zu können, müssen an dieser Stelle Angaben über die Qualität und die Genauigkeit der verwendeten Daten gemacht werden. Der Prozess der Suche und des Anpassens der Daten an das zu erstellende Modell wird Parametrisierung genannt. Beim vorliegenden Modell sind hierfür Daten aus unterschiedlichen Quellen und von unterschiedlicher Güte zum Einsatz gekommen. Die verlässlichsten Datenquellen liegen für die Rekonstruktion der Modelllandschaft vor: das digitale Geländemodell spiegelt zwar das heutige Relief, jedoch wirken im Untersuchungsgebiet die natürlichen landschaftsprägenden Faktoren im Holozän ausreichen gering, so dass eine generelle Gültigkeit auch für die Zeit ab 4000 v. Chr. angenommen werden kann.

Ähnliches gilt, wenn auch in abgeschwächter Form, für die Karte der Bodentypen. Weil um 4000 v. Chr. die heute wirksamen bodenbildenden Prozesse (mit Ausnahme des Menschen!) bereits seit mehreren Jahrtausenden wirken konnten, muss die Bodentypenverbreitung „nur“ um den Faktor Mensch bereinigt werden. Während dies im Detail natürlich sehr aufwändig sein kann, ist eine vereinfachte Rekonstruktion der damaligen Bodentypenverbreitung weniger schwierig. Für die Waldtypen und deren Dynamik muss betont werden, dass das hier verwendete Modell eine sehr stark vereinfachte Repräsentation der sicherlich vielfach komplexeren „neolithischen Realität“ darstellt. Sowohl die vereinfachte Zuordnung der drei Waldtypen zu den jeweiligen Bodentypen als auch die Simulation der Bestandesdynamik sind aus waldkundlicher Sicht wohl recht grob. Dennoch bilden sie die wesentlichen Charakteristika ab, deren Bedeutung für die prähistorische Subsistenzwirtschaft damit untersuchbar wird.

Die Daten, die als Grundlage für die Simulation der Getreideerträge gedient haben, sind gut begründet und valide, unter der Voraussetzung, dass die gewählten Modellparameter zutreffen. Das zugrunde liegende Modell (MONICA, Nendel et al. 2011) ist validiert und unter Freilandbedingungen getestet. Damit ist gewährleistet, dass der Einfluss des Wetters, des Bodens und der Düngung auf die Erträge korrekt abgebildet ist. Dagegen ist die absolute Höhe der Erträge mit viel größeren Unsicherheiten behaftet. Dies liegt zum einen daran, dass wir möglicherweise das Ertragspotential von neolithischen Emmerpflanzen falsch eingeschätzt haben, und zum anderen wurde ja keineswegs nur Emmer angebaut. Gerste, Einkorn und Nacktweizen haben vom Emmer verschiedene Ertragspotentiale, was sich natürlich direkt auf die Höhe der Erträge auswirkt. Weil die Erträge von Gerste und Weizen bereits seit über 150 Jahren durch gezielte züchterische Verbesserungen mitbestimmt werden (Schuster 1997), ist eine Aussage über die Höhe der neolithischen Ertragspotentiale mit noch größeren Unsicherheiten belastet als dies für Emmer der Fall ist. Zudem muss beachtet werden, dass ein dichter Stand der Pflanzen nach heutigen Maßstäben angenommen wurde; wie dicht die Pflanzen im Neolithikum tatsächlich standen, ist nicht sicher bekannt (siehe Hosch und Jacomet 2004 S.133; Maier 2001 S. 93 ff.), wirkt sich aber ebenfalls auf den Ertrag pro Hektar aus.

Bezüglich der Arbeitsmenge, die für die unterschiedlichen Verfahren erforderlich ist, wurde auf den Versuch, die „richtigen“ Daten zu finden, bewusst verzichtet, denn das ist schlichtweg unmöglich. Auch wäre der zeitliche Aufwand für eine wenigstens annähernd hinreichende Datenrecherche im Rahmen dieser Arbeit nicht leistbar gewesen. Stattdessen wurde eine übersichtliche Zahl an Quellen verwendet, die entweder ethnografische Daten aus entsprechender Literatur bereitstellen (insbesondere: Kerig 2007; daneben: Jepsen et al. 2006), Daten aus Anbauversuchen zur Verfügung stellen (Ehrmann et al. 2009) oder eigene Annahmen darstellen. Zu den beiden Quellen Kerig (2007) und Ehrmann et al. (2009) muss folgendes angemerkt werden: für einige Tätigkeiten liegen in beiden

Quellen nicht deckungsgleiche Angaben vor. Beispielsweise wird für die Ernte mit dem Handmesser bei Kerig eine Tagesleistung von 300 m<sup>2</sup> pro Tag angegeben, während bei Ehrmann et al. die experimentell ermittelten Werte von 40 – 140 m<sup>2</sup>/Tag (je nach Dichte des Ährenstandes pro Fläche) angegeben werden. Ähnliches gilt für die Tagesleistung der Bodenbearbeitung mit der Hacke, die bei Kerig mit 350 m<sup>2</sup> pro Tag angegeben ist, während bei Ehrmann et al. die Angabe von lediglich 15 m<sup>2</sup> bei Erstbearbeitung und 43 m<sup>2</sup> in den Folgejahren zu finden ist. Ich habe in diesen Fällen zu den Angaben bei Kerig tendiert, weil sie durch eine größere Zahl an Belegen verlässlicher erscheint. Somit wurden, wo sie vorlagen, die Werte von Kerig (2007) verwendet, ansonsten die Angaben bei Ehrmann et al. (2009).

Über die genannten hinaus liegen aus ethnografischen Quellen zahlreiche Datensammlungen vor, die aus verschiedensten Kontexten stammen. Jedoch bleibt selbst bei einer angenommenen, im Detail fraglichen Anwendbarkeit heutiger Beobachtungen auf prähistorische Gesellschaften die Frage, welche der verschiedenen Ethnien oder Gemeinschaften denn nun am besten geeignet wäre, um als Modell Verwendung zu finden. Daher ist der transparente Gebrauch der verwendeten Daten wichtiger als deren vermeintliche Passgenauigkeit. So ist im Allgemeinen nicht von einer absoluten Zuverlässigkeit der vorgestellten Ergebnisse auszugehen, wogegen jedoch die relative Zuverlässigkeit der Ergebnisse (damit meine ich das Verhältnis der Ergebnisse untereinander) wesentlich höher sein dürfte. Für bestimmte Tätigkeiten ist die Datenlage zum Zeitbedarf dagegen hinreichend genau, um den genannten Wert tatsächlich als gute Näherung zu verwenden (z.B. bei der Ernte). Allerdings ist auch hier anzumerken, dass die reine Zeitangabe mit Einschränkungen behaftet ist, weil der Zeitpunkt der Ernte in besonderem Maße witterungsabhängig ist (frdl. Mitteilung Tim Kerig).

#### 7.5.2 Wie plausibel sind die definierten Parameter der Szenarien S1-S4?

Unter 7.4 wurden vier Szenarien (S1-S4) definiert, die je eines der vier Anbauverfahren „Pflugfeldbau ohne Düngung“ (PB), „Gartenähnlicher Feldbau mit Düngung“ (GB), „Brandfeldbau mit Buschbrache“ (BB) und „Brandfeldbau mit Waldbrache“ (BW) simulieren. Diese Szenarien sind „Übersetzungen“ von bestehenden, sich zum Teil widersprechenden Hypothesen, welche aufgrund einer gut dokumentierten Datenlage erstellt worden sind. Für keines der beschriebenen Szenarien S1-S4 ist davon auszugehen, dass es ein exaktes Abbild einer prähistorischen Realität ist. Auch die Verwendung starrer Regeln, wie z.B. die Einhaltung einer 8- bzw. 15- jährigen Brachzeit, ist eher als Versuch zu verstehen, einen hypothetischen „Normalfall“ zu beschreiben, denn als Aussage über eine vermutete absolute Gültigkeit dieser Regeln. Die tatsächlichen Gegebenheiten mögen eine Kombination aus verschiedenen Elementen der beschriebenen Rahmenbedingungen gewesen sein. Denkbar ist beispielsweise, dass zwei unterschiedliche Verfahren parallel zum Einsatz gekommen sein könnten, wie es etwa von Jääts et al. (2011) anhand historischer Quellen für Estland beschrieben wird. Auch die Kopplung der Mistdüngung an ein bestimmtes Szenario (S2, GB) dient lediglich dem Vergleich verschiedener Annahmen, und schließt den Einsatz von Mistdüngung bei Pflugbau als mögliches praktiziertes Verfahren im Untersuchungsgebiet keineswegs aus. Ebenso ist natürlich ein pflugloser, gartenähnlicher Getreidebau (GB) ohne den Einsatz von Mistdüngung wie in S5 eine mögliche, vielleicht auch wahrscheinliche Variante.

Insofern stellen die vier definierten Szenarien Annahmen dar, die durch den Autor zu Vergleichszwecken erstellt wurden.

Zu beachten ist, dass sich die Ertragsdaten und die Kalkulationen des Getreideanteils auf die Ergebnisse der unter Kap. 6 simulierten Emmererträge stützen. Wie in Kap. 5.2 beschrieben, stellte Emmer jedoch keineswegs das einzige verzehrte Getreide dar, sondern wurde im Verlauf des Untersuchungszeitraums in unterschiedlichen Verhältnissen gemeinsam mit Nacktweizen (*Triticum durum/turgidum*), Gerste (*Hordeum vulgare*) und Einkorn (*Triticum monococcum*) kultiviert. Diese mögen von

Emmer verschiedene Ertragsniveaus gehabt haben, woraus sich u.U. verschiedene Ergebnisse bei der Kalkulation der Deckungsbeträge unter verschiedenen Feldflächen ergeben würden. Darüber können jedoch mit Bezug auf das Neolithikum wegen der Unkenntnis der genauen Sorteneigenschaften hier keine Aussagen gemacht werden können. Eine Vorstellung von der Schwankungsbreite durchschnittlicher relativer Ertragsleistungen kann aus Abb. 14 gewonnen werden (siehe Ehrmann et al. 2014 S.8). Auch wurden weitere Kulturpflanzen angebaut, von denen zumindest die Erbse sicher auch einen Beitrag zur Ernährung geliefert hat – was hier jedoch ebenfalls unberücksichtigt bleibt.

Auch die hier vorgenommene, bewusst stark vereinfachende Annahme einer über viele Jahre stabilen Dorfgemeinschaft mit einer definierten Anzahl identischer, autark wirtschaftender Häuser – wie sie in WELASSIMO\_feldbau simuliert werden – wurde nicht zuletzt durch die Erkenntnisse der Siedlung Arbon-Bleiche 3 widerlegt (Doppler et al. 2013; Röder et al. 2013; Jacomet et al. 2004). Stattdessen waren die Häuser dort in kooperierenden Hausgruppen organisiert, die spezifische Strategien verfolgen konnten (z.B. die sogenannten „Jägerhäuser“ und „Ziegenhäuser“, siehe Doppler 2013 S. 216). Um einen landschaftlichen Rahmen vorzugeben, wurde eine vereinfachte, dynamische Modelllandschaft generiert, die zu Beginn der Simulationen eine idealisierte, vom Menschen unbeeinflusste geschlossene Waldlandschaft mit den Waldtypen darstellt. Auch dies ist eine Annahme, die vermutlich nur auf einen Bruchteil der Feuchtbodensiedlungen zutrifft. Angesichts des hohen Arbeitszeitbedarfs für die erstmalige Rodung ist die Nutzung völlig neuer, „unberührter“ Gebiete wohl eher eine Ausnahme als die Regel gewesen.

Es wird also bewusst in Kauf genommen, dass die „realen“ Bedingungen wohl nur in seltenen Fällen einem der Szenarien entsprachen. Ganz allgemein ist nicht davon auszugehen, dass es überhaupt *das eine* richtige Szenario gab: Wie Doppler et al. (2013) schreiben, ist „die früher allgemein akzeptierte Vorstellung einer statischen Subsistenzstrategie mittlerweile überholt, weil Archäologen die dynamische Umgebung erkannten, innerhalb derer sich die prähistorischen Gemeinschaften entwickelten. Damit rückt die Fähigkeit der gezielten Anpassung von Subsistenzstrategien an veränderliche Bedürfnisse und Rahmenbedingungen in den Fokus“ (eigene Übersetzung). Letztlich ist es damit sehr wahrscheinlich, dass die Szenarien in „Reinform“ kaum je realisiert waren, und wenn, dann nicht als Regel, sondern als zufällige und vorübergehende Erscheinung.

Dadurch ist klar, dass die Szenarien stark vereinfachte Abbilder von Hypothesen einer vielfach komplexeren neolithischen Realität sind. Dies ist jedoch unerlässlich, um die wahrscheinlichen Effekte dieser in engen Grenzen definierten Verfahren zu verstehen und ihre Auswirkungen im Modell überhaupt klar benennen zu können. Kann nun anhand der Simulation „das richtige“ Szenario identifiziert werden? Die Frage muss klar mit „nein“ beantwortet werden, denn es handelt es sich bei den Szenarien um die Übersetzung von Hypothesen, die durch die Simulation weder bewiesen noch widerlegt werden können. Aber es können Rahmenbedingungen und Auswirkungen beschrieben werden, die wahrscheinlich mit der Anwendung der Anbauverfahren einhergehen würden. Aus diesen können dann Einschätzungen der Plausibilität der Szenarien vorgenommen werden. Diese stellen jedoch keinen objektiven Tatbestand dar, sondern stellt einen Rahmen der plausiblen Situationen dar, innerhalb dessen sich die Bedingungen bewegt haben können.

#### 7.5.2.1 S1: Pflugbau

In S1 wird Pflugbau ohne Düngemaßnahmen betrieben. Wenn auch insgesamt die Wahrscheinlichkeit eines Pflugbaus im betrachteten Zeitfenster sehr gering ist, wird dieses Szenario hier dennoch zu vergleichenden Zwecken berücksichtigt. Es ist sicher, dass die Bearbeitung eines nur unzureichend von Wurzeln und Stubben befreiten Bodens mit vormodernen Geräten sehr mühsam und zeitauf-

wändig war. Daher ist es naheliegend anzunehmen, dass eine Voraussetzung für den Pflugbau (sofern er überhaupt im Feuchtbodenkontext zum Einsatz kam) die Existenz von dauerhaft und bereits seit Längerem von holziger Vegetation befreiten Flächen war. Insbesondere in den ersten Jahren des Anbaus nach Flächenöffnung werden im Vergleich der vier Szenarien hier die geringsten Erträge, jedoch eine sehr hohe Produktivität erreicht. Die Erträge pro geleisteter Arbeitsstunde übertreffen – mit Ausnahme von S2 – diejenigen aller anderen Verfahren bei Weitem. Allerdings ist diese hohe Produktivität nur gegeben, wenn die Erträge nicht unter ein bestimmtes Maß absinken; durch fortgesetzten Anbau ohne Rückführung der Nährstoffe tritt jedoch genau dieser Effekt ein.

Damit liegt für die Hypothese eines Pflugbaus ohne Düngemaßnahmen ein Dilemma vor: die initialen Rodungskosten für die sorgfältige Rodung sind einerseits so hoch, dass der Wert der Feldflächen (gemessen in investierte Arbeitsstunden pro Fläche) eine lange Nutzung der Felder nahelegen würde. Andererseits sinkt die Produktivität durch abnehmende Erträge im Lauf der Zeit, weshalb sowohl aus wirtschaftlicher Rationalität als auch aus sehr unmittelbaren Gründen (nämlich der zunehmend unsicheren Kalorienversorgung über Getreide) eine Anpassung der Strategie erforderlich wäre. Wenn man davon ausgeht, dass die Ziele der Nahrungsversorgung auch eine gewisse Konstanz der Komponenten umfasst, dann ist es unwahrscheinlich, dass diese fruchtbarkeitsbedingte Abnahme im Normalfall nur durch ein Ausweichen auf andere Nahrungsquellen aufgefangen worden sein sollte (wenn dies auch in Extremfällen sehr wohl gut belegt ist, siehe z.B. Schibler 2006 oder Maier 2001 S. 127). Eine Möglichkeit wäre, die Nährstoffrückführung über den Einsatz von Mistdünger wie in S2 zu bewirken. Eine Nährstoffrückführung über ein Brachestadium der Flächen wäre nur für kurze Dauer von 1-2 Jahren vorstellbar, weil das Wachstum von Holzigen Pflanzen und deren Wurzeln bei einer länger andauernden Brachzeit den Erfordernissen des Pflugbaus widersprechen würde. Aus demselben Grund scheidet auch die Anwendung eines Brandverfahrens mit anschließender mehrjähriger Brache in Kombination mit Pflugbau aus.

Auch die Nutzung stickstofffixierender Kulturpflanzen (v.a. Hülsenfrüchte) als Neben- oder Zwischenfrucht auf den Flächen könnte zu einer Steigerung der absoluten Beträge und zur Stabilisierung des Ertragsniveaus beitragen (siehe 6.4.2). Eine entsprechende Simulation wurde mit MONICA durchgeführt, allerdings unter unzureichender Anpassung an vermutliche neolithische Bedingungen. Die ertragssteigernde Wirkung von Hülsenfrüchten und besonders dem Einarbeiten der Pflanzenrückstände als N-Düngung kam in den Simulationen klar zum Ausdruck, war jedoch vermutlich unrealistisch hoch. Die Ergebnisse der Simulationen gehen nicht im Detail in diese Arbeit ein, weil sie nur unzureichend aufgearbeitet sind, stehen jedoch für zukünftige Projekte zur Verfügung. Für die Simulation von Getreideerträgen bei ausschließlicher Nährstoffrückführung über Brache liegen aus den unter 6.4 genannten Simulationen keine Daten vor; deren Erhebung ist ebenfalls für zukünftige Projekte vorgesehen.

Insgesamt erscheint der Pflugbau als ein Verfahren, in welchem die Investitionskosten für die Flächenbearbeitung, zum Erhalt der Fruchtbarkeit und für die Ausbildung von entsprechenden Zugtieren mit höherer Produktivität vergütet werden. Ein mehrjähriges Brachestadium der Felder wäre eine Vergeudung bereits in die Rodung investierter Arbeitskraft und kann daher als eine unwahrscheinliche Komponente eines Pflugbauverfahrens betrachtet werden.

#### 7.5.2.2 S2 und S5: gartenähnlicher Feldbau

Wie bereits in 7.5.2 ausgeführt, ist die Kopplung von Düngung an permanenten Gartenbau in Szenario S2 zu Vergleichszwecken erstellt und keine sich zwingend aus den archäobiologischen Daten ergebende Tatsache. Bis vor kurzem war die Frage des Einsatzes von Mistdüngung nur auf Grundlage ei-

ner dünnen Datenbasis zu beantworten, weil es keine Möglichkeit des direkten Nachweises gab. So schließt Ebersbach (2002, S.203) eine Mistdüngung der Felder im Jungneolithikum aufgrund des Fehlens von trittresistenten Pflanzen und ebenfalls fehlenden Hinweisen auf Stallhaltung aus. Die Untersuchungen von Bogaard et al. (2013) zur Stickstoffisotopie von neolithischen Getreidefunden in mitteleuropäischen Fundstellen und von Styring et al. (2016) in den jungneolithischen Siedlungen Hornstaad-Hörnle 1A und Sipplingen-Osthafen belegen jedoch den Einsatz tierischen Düngers. Damit ist es erstmals möglich, diese Frage auf einer fundierten und reproduzierbaren Datenbasis zu bearbeiten.

Generell sind für einen gartenähnlichen Feldbau wie auch für den Pflugbau die Nutzung verschiedener agronomischer Verfahren wie die Mistdüngung, einer Brachzeit der Felder oder der Nutzung von stickstofffixierenden Pflanzen zur Ertragssteigerung und -erhaltung denkbar. Auch der Einsatz eines Brandverfahrens in Kombination mit einem gartenähnlichen Feldbau kann nicht ausgeschlossen werden; man kann sich ohne Weiteres ein Verfahren vorstellen, in welchem ein junger Baumbestand von 6-15 Jahren gerodet und anschließend die Fläche überbrannt wird, auf welcher dann für eine ähnliche Anzahl an Jahren Getreidebau durchgeführt würde.

Wie in Abb. 24 dargestellt, ist die Produktivität des gartenähnlichen Feldbaus bei Annahme von Mistdüngung höher als bei allen anderen Szenarien, während bei Verzicht auf Düngung („S5“, siehe Kap. 7.4.6) eine mittlere Produktivität zwischen S1 und S2 einerseits und S3 und S4 andererseits anzunehmen ist. Generell ist für die Gewinnung der in S2 angenommenen Dungmenge von 10 t/ha eine große Anzahl Rinder pro Haus erforderlich. Bei einer angenommenen Feldfläche von 1 ha pro Haus läge diese bei 6,7 Rindern pro Haus (Tab. 13). Dieser Wert ist jedoch weit außerhalb der archäologisch rekonstruierten Gegebenheiten, welche zwischen 0,1 und 4,4 Rindern pro Haus mit einem Median bei 0,88 liegen (Ebersbach 2013 S. 150). Bei einer Düngeintensität von 10 t/ha würde diese Menge selbst bei Streckung mit Streu und anderen Abfällen für die Düngung einer Fläche von höchstens 0,1-0,2 Hektar ausreichen (siehe Tab. 6). Die dadurch mögliche Deckung des Gesamtkalorienbedarfs von nur 5-20% (siehe Anhang, Abb. 62) scheint zu gering, um ein plausibles Szenario abzugeben. Dies bedeutet natürlich nicht, dass die selbst bei einer geringen Anzahl Rinder anfallende Menge Dung nicht dennoch eine wertvolle und auch verwendete Ressource dargestellt hätte; aber sie musste sehr strategisch eingesetzt werden, und der Großteil der Anbaufläche musste wohl ohne Mistdüngung auskommen.

Zu eben diesem Schluss kommen Styring et al. (2016): Sie können anhand der Stickstoff-Isotopie von Getreidefunden aus den Siedlungen Hornstaad-Hörnle 1A und Sipplingen-Osthafen Belege für einen sehr zielgerichteten Einsatz von Mistdüngung auf jeweils nur einem Teil der Anbauflächen belegen. Bogaard et al. (2013) können ebenfalls unter Analyse der Stickstoffisotopie nachweisen, dass das räumliche Muster der Stickstoffgaben auf den Feldflächen variierte. Ein ungelöstes Problem bei der Rekonstruktion intensiver Mistdüngung durch Rinder ist, dass deren Haltungsbedingungen an die Erfordernisse der Dunggewinnung angepasst sein müssten – in der genannten Dimension scheint dies nur durch Stallhaltung oder zumindest sehr gut strukturierte Haltung der Herden möglich. Für die Stallhaltung liegt jedoch nicht *ein* verlässlicher Hinweis, geschweige denn ein Beweis vor (Ebersbach 2002, S. 41 ff.).

Wenn man diese Ausführungen mit den oben gemachten Überlegungen und den Hinweisen für ein spätes Aufkommen des Pflugbaus zusammen betrachtet, dann ist die Anwendung von Gartenbau ohne oder mit sehr geringer, nicht flächendeckender Mistdüngung (S5, siehe Kap. 7.4.6) im Vergleich sowohl zum Pflugbau (S1) als auch zu einem regelhaft hohen Einsatz von Mistdüngung (S2) die wahrscheinlichere Annahme. Dies gilt insbesondere, wenn man von einer Nutzung der Flächen für nicht mehr als 10-15 Jahre ausgeht. Danach sinken die Erträge wegen der nachlassenden Feldfruchtbarkeit auf so geringe Werte, dass zumindest aus reiner ökonomischer Rationalität der Einsatz eines Brandverfahrens plausibler wäre (siehe Abb. 24 und Kap. 7.5.2.3). Tatsächlich geht aus Untersuchungen zur

Belegungsdauer der Siedlungsplätze wie auch zu Nutzungszeiträumen einzelner Hausstrukturen eine sehr hohe Besiedlungsdynamik in den Feuchtbodensiedlungen hervor (Ebersbach 2010a S. 99 ff.). Die Mediane aller in die Untersuchung eingegangenen neolithischen Phasen im Untersuchungsgebiet liegen bei 6-8 Jahren, die Mittelwerte schwanken ebenfalls nur geringfügig zwischen 10 und 14 Jahren.

Damit liegt es nahe, wegen der Ähnlichkeit der Zeiträume einen kausalen Zusammenhang zwischen den genannten Laufzeiten der Siedlungen und dem nachhaltigen und durchgreifenden Absinken des potenziellen Getreideanteils an der Kalorienversorgung zu vermuten. Eine interessante ethnologisch belegte Parallele ist bei Schott (1936, S. 47) zu finden: Er beschreibt unter Verwendung der Angaben von Thwaites (1896), dass „die Indianer (Huronen in südlichen Ontario, d. Verf.) ihre Orte nach 10-12, mitunter auch erst nach 20 Jahren verlegten. Einesteils geschah es, weil nach dieser Zeit der Boden der Felder, da er nie gedüngt wurde, völlig erschöpft war, andernteils, weil bei dem großen Holzbedarf, vor allem im Winter, nach diesem Zeitraum das Feuerholz in der näheren Umgebung des Dorfs verbraucht war.“ Etwas weiter beschreibt Schott unter Rückgriff auf Jones (1861): „Die meisten Orte haben (...) ihre Lage zwei-bis dreimal verändert. Die Rodung kann (...) den Indianern keine großen Schwierigkeiten bereitet haben, da sie ja alle 10-12 Jahre immer wieder zur völlig neuen Verlegung ihrer Fluren schritten.“

#### 7.5.2.3 S3 und S4: Brandfeldbau

Die Szenarien S3 und S4 sind zwei geringfügig unterschiedliche Varianten einer Hypothese die besagt, dass Brandfeldbau oder „Shifting Cultivation“ im Untersuchungsgebiet die wesentliche Anbaumethode insbesondere während des Jungneolithikums gewesen sei. Auch hier sind die Regeln der Transparenz halber starr formuliert, was aber unter angenommenen „realen“ Bedingungen keineswegs der Fall gewesen sein müsste. So könnte beispielsweise die Anbaudauer auf den Flächen mehr als ein Jahr betragen haben. Allerdings wären damit spezifische Auswirkungen verbunden, die sowohl ertragsmindernd wirken als auch den Arbeitsbedarf beeinflussen würden; so wird bei Ehrmann et al. (2009, S. 68) generalisierend von „enttäuschend geringen“ Erträgen im zweiten Jahr des Anbaus gesprochen, unabhängig von der Anbaumethode. Zudem sei das Wachstum von krautiger Vegetation im zweiten Jahr derart massiv, dass es eine (zusätzliche!) sehr hohe Arbeitsbelastung erfordern würde.

Ebenso könnten anstelle der 8- bzw. 15-jährigen Umtriebszeiten auch andere Zeiten zum Einsatz gekommen sein. Dennoch sind wesentliche Elemente des Verfahrens allgemein gültig: immer wird durch hohen Flächen- und Arbeitseinsatz ein sehr hoher Getreideertrag pro Fläche erzielt. Nach einem kurzen Anbau von 1 bis max. 3 Jahren werden neue Flächen mit geeignetem Baumbestand benötigt. Besonders in einer eher ursprünglichen Waldlandschaft sind diese Flächen rar und stellen daher eine bedeutende Ressource für das Verfahren dar. In einer etablierten „Brandfeldbau-Landschaft“ könnte das Angebot an solchen, durch frühere Nutzungszyklen entstandenen Flächen durch die sich einstellende Sekundärsukzession auf aufgelassenen Brachflächen deutlich erhöht sein.

Daher muss betont werden, dass sich der Flächenbedarf für die Brandverfahren unter der Annahme eines größeren Anteils junger Sekundärvegetation (wie er ja tatsächlich pollenanalytisch belegt ist; siehe z.B. Rösch und Lechterbeck 2016) deutlich geringer liegt als bei Annahme eines hohen Primärwaldanteils. Das Verhältnis des Flächenbedarfs in den unterschiedlichen Szenarien beträgt in einer sekundärwaldreichen Landschaft 1:26-1:39, in einer mit ursprünglichem Primärwald bewachsenen Fläche hingegen 1:76-1:117. Das von Ehrmann et al. (2014) beschriebene Verhältnis von 1:36 stellt also einen Wert im unteren Bereich des Spektrums dar. Mit diesen Zusammenhängen offenbart sich ein Argument gegen die These, dass Brandfeldbau besonders bei der erstmaligen Erschließung margi-

nalere Landschaften eine bedeutende Rolle gehabt haben könnte: Gerade in einem dicht bewaldeten Gebiet ist die Anwendung von Brandfeldbau besonders schwierig, wie durch den erhöhten Raumbedarf in solchen Landschaften angezeigt wird.

Wie in 6.5.4.3 beschrieben, ist für BW eine Feldfläche von 0,5 Hektar pro Jahr und Haus eine sowohl vom Arbeitsaufwand machbare als auch von der Höhe der Erträge sinnvoll scheinende Annahme, weil der Anteil von Kalorien aus Getreide nicht regelhaft höher als 100% liegt. Bei kleinen Siedlungen von nur 10 Häusern sind dadurch in einer zuvor menschlich nicht genutzten Umwelt 53 Minuten Gehzeit für den Feldbau erforderlich (hin und zurück), in einer schon länger für Brandfeldbau genutzten Landschaft sinken die maximalen Gehzeiten auf 40 Minuten. Die gleiche Siedlungsgröße würde bei gartenähnlichem Feldbau und einer doppelt so großen Feldfläche von 1 ha nur etwa 12 Minuten Gehzeit bedingen.

Wenn man bedenkt, wie viele Tage im Jahr auf den Feldflächen verbracht werden müssen, dann stellt dieser Unterschied von 40 Minuten durchaus einen Faktor dar für die hypothetische, weil nur im Modell so realisierte Möglichkeit der Wahl des einen oder anderen Verfahrens. Wenn die Siedlungsgröße aber 100 Häuser beträgt, so betragen die Gehzeiten 40-147 Minuten bei Brandverfahren gegenüber 24-30 Minuten bei den Verfahren ohne Flächenverlegung. Wenn das Verfahren also bei kleinen Siedlungen durch die zwar höheren, aber nicht unwahrscheinlichen Gehzeiten noch eine realistische Option zu sein scheint, muss man sich bei großen Siedlungen wegen der täglichen Gehzeit von bis zu zweieinhalb Stunden fragen, welche Eigenschaft des Brandfeldbaus ihn zu einem bevorzugten Verfahren machen könnten.

Auch beim Betrachten der hier berechneten Produktivität der Verfahren (Abb. 24) scheint das Verfahren einen deutlichen Nachteil gegenüber den permanenteren Verfahren S1 und S2/S5 zu haben: so werden in Bezug auf eine Arbeitseinheit deutlich geringere Erträge erzielt. Zwar werden deutlich höhere absolute Erträge pro Fläche erzielt, aber die extrem hohe Arbeitsbelastung für das jährliche Vorbereiten der Flächen sowie für den Zaunbau bewirkt dennoch, dass die Produktivität geringer ausfällt als bei den permanenten Anbauverfahren. Hier muss auf die Publikation von Schier et al. (2013) hingewiesen werden, die in dieser Frage eine entgegengesetzte Position vertritt (Abb. 25). Die Unterschiede beruhen auf dort sehr geringen Erträgen des Anbaus mit permanenten Verfahren ab Jahr 3, die in der Studie erzielt und als Berechnungsgrundlage verwendet wurden. Diese lagen bereits im dritten Jahr des Anbaus so niedrig, dass nach Ehrmann et al. (2009) „Ein drittes Anbaujahr mit Bodenbearbeitung hingegen kaum mehr lohnend“ gewesen sei. Diese tatsächlich sehr niedrigen Erträge bei fortgesetzter Getreideproduktion sind allerdings als Ausnahme zu bewerten (siehe Kap. 6.5), und es geht aus der Publikation auch nicht hervor, ob sich die Daten auf mehr als nur eine Wiederholung stützen.

Zudem sind die Ergebnisse auf einer Fläche erzielt worden, die anfänglich überbrannt wurde. Damit liegt die Möglichkeit vor, dass dadurch ein großer Teil der Stickstoffvorräte, die ansonsten in den Folgejahren verfügbar gewesen wären, durch den Brand im Jahr eins mobilisiert wurde und danach nicht mehr vorhanden war. Aus diesen Gründen kann dieses Ergebnis nicht als repräsentativ betrachtet werden. Wie in der Diskussion zu Kap. 6 sowie aus Tab. 3 und Abb. 9 und Abb. 13 deutlich wird, können auch bei fortgesetztem Anbau ohne Düngung sehr wohl dauerhaft Erträge erzielt werden, die einen Anbau lohnend erscheinen lassen. Nach einer Periode von 10 Jahren permanenten Anbaus ohne Düngung liegen die mit MONICA erzielten Getreideerträge zwar wegen der abnehmenden Bodenfruchtbarkeit geringer als zu Beginn des Anbaus, jedoch beträgt die Abnahme in diesem Zeitraum lediglich 40%, so dass die absoluten Erträge hier immer noch bei 600-700 kg pro ha liegen.

Ein weiterer Grund für die unterschiedlichen Angaben zur Produktivität der Verfahren und gleichzeitig ein Vorteil von größerer Ortskonstanz der Feldflächen liegt in der Notwendigkeit des Errichtens



von Wildzäunen (z.B. Bose 1967, S.68; Jepsen et al. 2006; Schott 1936, S. 158). Wenn diese in jedem Jahr wegen der Verlegung der Flächen neu zu errichten sind, ist im langjährigen Mittel natürlich ein Vielfaches der Arbeitszeit für den Zaunbau erforderlich, als es im Fall von mehrjährigen Feldflächen der Fall wäre.

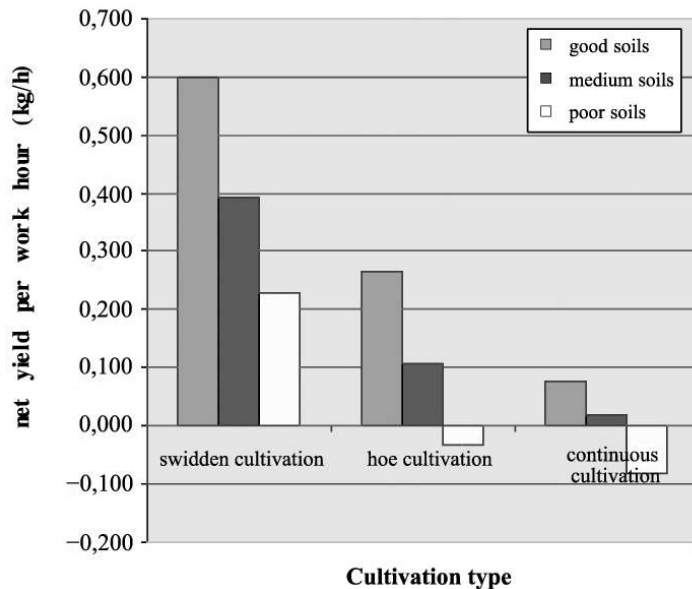


Abb. 25: Nach Schier et al. (2013) berechnete Produktivität von drei verschiedenen Anbauverfahren. Die Daten stehen im Widerspruch zu den hier vorgestellten Ergebnissen (siehe Abb. 24)

Hier ist nur eine Reparatur der Zäune erforderlich, die (willkürlich) im Modell mit einem Zehntel der für den Neubau erforderlichen Zeit veranschlagt wurde. Wie später zu zeigen sein wird, spricht auch die große Bedeutung geeigneter Stämme für den Hausbau gegen ein regelhaftes Brandverfahren, weil die bevorzugten Stämme ähnliche Dimensionen haben. Es würde also möglicherweise einer Vernichtung von wertvollen Ressourcen gleichkommen, große Flächen gering dimensionierter Bäume zu verbrennen.

Unbestreitbar haben die Brandverfahren auch einige Vorteile: Es können sehr hohe absolute Erträge pro Fläche erzielt werden; mit einer Steigerung der Stickstoffgabe werden die Schwankungen der Erträge relativ betrachtet geringer; das Verfahren liefert auch auf extrem nährstoffarmen Böden noch Erträge, wie z.B. auf tiefgründig verwitterten, stark sauren Böden in den Tropen; der zeitliche Aufwand zum Jäten der Felder ist deutlich geringer als im gartenähnlichen Feldbau (zumindest im ersten Jahr nach dem Brand); das produzierte Getreide ist häufig quasi frei von Unkrautsamen (Steensberg 1993); Die Arbeitsspitzen sind anders gelagert als im permanenten Anbau und ermöglichen u.U. eine Vermeidung von arbeitsökonomischen „Flaschenhälsen“.

Wenn auch aus den oben genannten Gründen die vorwiegende Nutzung von Brandfeldbau zur Getreideproduktion in der Untersuchungseinheit unwahrscheinlich ist, könnte das Verfahren als komplementäre Strategie in einem begrenzten Umfang durchaus plausibel sein. Ein solches Nebeneinander von permanentem Feldbau und Brandfeldbau wird beispielsweise von Jääts et al. (2011) für Estland beschrieben. Die Autorinnen beschreiben, wie durch die Kombination der Verfahren und die unterschiedlichen Eigenschaften von permanentem Anbau und Brandfeldbau die Resilienz des gesamten Systems erhöht wird, weil die zeitlichen Arbeitsspitzen breiter verteilt werden und die Düngerabhängigkeit verringert wird. Auch die bereits in 6.5.5.2 genannte Möglichkeit einer Kombination von Elementen beider Verfahren auf nur *einer* Fläche, z.B. durch mehrjährigen Anbau auf Feldern, die unter Anwendung von Brandverfahren von voriger Vegetation befreit wurden, muss hier bedacht wer-

den. Schott (1936, S47) beschreibt in seiner Darstellung der indianischen Kulturlandschaft unter Rückgriff auf Champlain (1922) ein analoges Verfahren: „man ringelte die Bäume, stapelte die Äste um die größeren Stämme und verbrannte sie. (...) um Mais zu pflanzen“.

## 7.6 Fazit zur Simulation des Getreideanbaus mit WELASSIMO\_feldbau

- 1) Keines der Szenarien kann aufgrund der Simulationen ausgeschlossen werden. Die Simulationen sind lediglich Übersetzungen von Hypothesen. Die Interpretation der Ergebnisse ermöglicht jedoch eine Bewertung der Plausibilität.
- 2) Pflugfeldbau kann wegen fehlender archäologischer Belege für den Untersuchungszeitraum ausgeschlossen werden. Es konnte gezeigt werden, dass in diesem Verfahren auch bei angenommenen geringeren Erträgen pro Fläche wegen der verminderten Arbeitsmenge eine recht hohe Produktivität erreicht wird. Allerdings sinkt diese wegen der nachlassenden Feldfruchtbarkeit rasch ab.
- 3) Die Hypothese eines gartenähnlichen Feldbaus ohne oder mit nur sehr geringer Nutzung tierischen Düngers erscheint gegenüber einer (relativ!) intensiven Düngung mit 10 t Mist/ha/a wahrscheinlicher. Die Anzahl Tiere, die für die jährliche Düngung von nur 0,5 ha Feldfläche erforderlich wären, liegt mit 3,3 Tieren bereits weit oberhalb des archäozoologisch nachgewiesenen Medians von 0,88 Tieren pro Haus. Mit dieser Anzahl können lediglich etwa 0,1 ha in der besagten Höhe gedüngt werden. Bei Verzicht auf Düngung mit Mist sind bereits etablierte Feldflächen von 1,5 ha durchaus mit den zur Verfügung stehenden Arbeitskräften zu bearbeiten. Dagegen sind im Fall einer initialen Feldvorbereitung Flächen von 0,2-0,3 ha das Maximum, was mir den Arbeitskräften eines Modellhauses geleistet werden kann. Auf ungedüngten Feldflächen von 1 ha können zu Beginn der Nutzungsperiode eines neuen Feldes im Mittel etwa 80% des jährlichen Kalorienbedarfs des Modellhaushaltes gedeckt werden, jedoch sinkt dieser Wert ohne Maßnahmen zur Erhöhung der Stickstoffverfügbarkeit (Düngung, Brache oder Anbau von Leguminosen) im Verlauf von nur 10 Jahren im Mittel auf 50%. Aufgrund der jährlichen wetterbedingten Schwankungen weichen die tatsächlich erzielten Erträge jedoch deutlich von diesen Mittelwerten ab und können auch zu Beginn der Anbauperiode schon zu geringen Deckungsbeträgen des jährlichen Kalorienbedarfs von nur 30% führen, ebenso können auch Abweichungen nach oben erfolgen.
- 4) Die Hypothese des Brandfeldbaus ist mit einem hohen Arbeits- und Flächenbedarf verbunden. Eine jährliche Anbaufläche von 0,5 ha ist mit den angenommenen Arbeitskräften eines Hauses gut zu bewältigen, eine Fläche von 1 ha dagegen überschreitet die Arbeitskapazität bereits regelhaft. Die auf einer Feldfläche von 0,5 ha mit Brandfeldbau erzielten Getreideerträge können 50-100% des jährlichen Kalorienbedarfs eines Modellhauses decken. Dafür sind bei kleinen Siedlungen von nur 10 Häusern nach 15 Jahren Gehzeiten von 30-50 Minuten (hin und zurück) erforderlich. Dagegen sind insbesondere bei größeren Siedlungen von 100 Häusern sehr weite Entfernungen der Feldflächen mit Gehzeiten von bis zu 4-5 h erforderlich. Wegen der hohen Arbeitsbelastung für die Vorbereitung des Brandes und der jährlich aufs Neue erforderlichen Einzäunung der Flächen liegt die Produktivität des Verfahrens trotz hoher Erträge pro Fläche deutlich unter der der permanenten Anbauverfahren.
- 5) Aufgrund der geringen Produktivität des Brandfeldbaus und des sehr hohen Flächenbedarfs besonders bei mittleren bis großen Siedlungen sowie wegen der nicht erkennbaren Vorteile, die die beschriebenen Nachteile aufwiegen könnten, halte ich den Brandfeldbau in der hier definierten Weise für keine wahrscheinliche Hypothese.

## 7.7 Zwei Fallstudien: Hornstaad-Hörnle 1A und Sipplingen-Osthafen

### 7.7.1 Fallstudie: Hornstaad-Hörnle 1A

#### 7.7.1.1 Hintergrund

Die Siedlung Hornstaad-Hörnle 1A (3918-3902 v.Chr.) wurde in den Jahren 1983-1993 im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „Siedlungsarchäologische Untersuchungen im Alpenvorland“ ausgegraben (Dieckmann et al. 2006). Die Befunde der Siedlung waren dank des wassergesättigten Milieus nicht nur außerordentlich gut erhalten, sondern auch in weiten Bereichen der Siedlung durch eine auflagernde Seekreideschicht weitgehend versiegelt. Billamboz (2006) und Dieckmann et al. (2006) konnten detaillierte Aussagen zur Besiedlungsgeschichte des Dorfes machen. Maier (1999, 2001) legte anhand von botanischen Großrestanalysen eine detaillierte Analyse der Ernährungsstrategie der Dorfbewohner und eine Rekonstruktion der Siedlungsumwelt vor. Umfangreiche Untersuchungen der Keramikfunde (Matuschik 2011), der Silexfunde (Hoffstadt 2005) und der Schmuckfunde (Heumüller 2009) konnten durchgeführt werden.

Die Siedlung eignet sich besonders gut als Fallstudie für die Simulation verschiedener Szenarien zum Getreideanbau. Zum einen konnte die Entwicklung des Dorfes und seiner Besiedlung präzise nachgezeichnet werden. Die Häuser waren mit 25-30 m<sup>2</sup> recht klein, was nach Dieckmann et al. (2006, S. 238) auf durchschnittlich 5-6 Bewohner oder eine Kleinfamilie schließen lässt. Vermutlich waren die Häuser wirtschaftlich weitgehend autark und bildeten eine eigenständige Einheit (Dieckmann et al. 1997). Die Autoren rechnen aufgrund der Anzahl von 60 möglicherweise gleichzeitig belegten Häusern daher mit etwa 300-360 Bewohnern zum Zeitpunkt der größten Besiedlungsdichte. Nach einem katastrophalen Dorfbrand im Jahr 3910 v. Chr. wurde die Siedlung bis etwa 3902 v. Chr. in geringem Umfang weiter genutzt, für den nach Dieckmann et al. (2006, S.238) etwa je 15 Häuser in vier Phasen anzusetzen sind, während Billamboz (2006 S. 316) aufgrund dendroarchäologischer Daten insgesamt von nur 7-15 gesicherten Häusern spricht.

Zum zweiten liegen fundierte Rekonstruktionen der Siedlungsumwelt vor. Aufgrund seiner bodenkundlichen Untersuchungen konnte Vogt (2001, 441 ff. und Beilage 3) gut begründete Aussagen zu den pedologischen Verhältnissen des Siedlungsumfeldes im Jungneolithikum machen. So geht er davon aus, dass die holozäne Bodenentwicklung hin zur Parabraunerde ungestört ablief und dieser Bodentyp daher die landwirtschaftliche Grundlage für die Anlage von Feldflächen während des Jungneolithikums darstellte. Ferner schließt er aufgrund von unter Kolluvien begrabenen Bodenhorizonten auf weitgehend deckungsgleiche chemische und physikalische Eigenschaften der neolithischen Parabraunerden mit heute dort beobachteten. Auch konnte er eine Karte potenziell feldbaulich nutzbarer Standorte im Jungneolithikum vorlegen.

Die natürliche Vegetation im Umfeld der Siedlungen wird von Maier (2001, S. 166 ff.) anhand von über 200 nachgewiesenen Wildpflanzenarten rekonstruiert. Von den 12 verschiedenen Vegetationstypen, die sie beschreibt, sind für die hier vorgelegte Untersuchung besonders die auch von Billamboz (2006, S. 337) hervorgehobenen Waldstandorte relevant. Danach wuchs im Bereich der mittleren Hochwassergrenze des Bodensees (bei 396 m<sup>ü</sup>NN) die Weichholzaue mit Silberweide und Schwarzpappel. Etwas höher folgte die Hartholzaue mit Stieleichen-Ulmenwald und Erlen-Eschenwald. Noch höher gelegen dominierten mesophile Laubwälder auf Parabraunerden. Nach Rösch et al. (2014) und Lechterbeck und Merkel (2014) fand die Ausbreitung der Buche im Bodenseegebiet bereits um 5000 BC statt, daher kann wohl mit einem beträchtlichen Buchenanteil in diesen Wäldern gerechnet werden, sofern diese nicht anthropogen beeinflusst wurden. Für solche Bedingungen können die Autoren der genannten Studien einen starken Anstieg von Hasel und in geringerem Umfang auch Birke nachweisen. Die Wälder um die Siedlung waren wohl nicht in einem „weitgehend natürlichen Zu-

stand, als die Siedler ankamen“ (wie bei Maier 1999 zu lesen), da nach Billamboz (2006, S. 342) mit dendroarchäologischen Methoden eine anthropogene Stockwaldphase mit Beginn um 3940 v. Chr., also etwa 30 Jahre vor Siedlungsbeginn belegt ist.

Zum dritten konnte Maier (1999, 2001) aufgrund ihrer Untersuchungen der pflanzlichen Großreste der Siedlung eine detaillierte Rekonstruktion der pflanzlichen Nahrungsbasis und ihrer Gewinnung bzw. Produktion vorlegen. Sie beschreibt eine starke Dominanz von Nacktweizen (*Triticum durum/turgidum* L.), der 68% der gefundenen Getreidereste ausmacht, gefolgt von Gerste (*Hordeum vulgare* L.) mit 20% und Einkorn (*Triticum monococcum* L.) mit 10%. Emmer (*Triticum dicoccon* Schrank), der für die in Kapitel 5 vorgelegte Untersuchung die Grundlage bildet, war in der Siedlung wahrscheinlich keine eigenständig kultivierte Getreideart, sondern ist vermutlich nur zufällig in den Feldern mitgewachsen. Darüber hinaus kann Maier den Anbau von Lein (*Linum ussitatissimum* L.), Erbse (*Pisum sativum* L.) und Schlafmohn (*Papaver somniferum* L.) nachweisen. Maier (1999) geht von einem Anbau auf permanent kultivierten, intensiv bearbeiteten Feldern aus und vermutet, dass die hohe Qualität der Böden einen Anbau über 20-40 Jahre hinweg ohne Düngung ermöglicht hätte. Sie kann für das Jahr des Siedlungsbrandes einen minimalen Getreidevorrat von 210-280 kg pro Haus nachweisen, wobei nicht sicher ist, welche Getreidemenge entweder von den Flammen vernichtet wurde, vor ihnen gerettet werden konnte oder zum Zeitpunkt des Brandes noch nicht geerntet war. In neueren Untersuchungen von Bogaard et al. (2013) und Styring et al. (2016) über die Stickstoffisotopie der Getreidefunde kommen die Autorinnen zu dem Schluss, dass die Felder sehr wahrscheinlich mit Rindermist gedüngt wurden, dies aber in unterschiedlicher Intensität geschah. Auch können sie unterschiedliche Anbauverfahren für Nacktweizen und Gerste belegen: während die Isotopensignatur von ersterem für eine einheitliche Düngung aller Pflanzen eines Hauses spricht, unterscheiden sich die Signaturen bei Gerste innerhalb der Häuser, wodurch ein angepasster Anbau auf unterschiedlich stickstoffversorgten Flächen nahegelegt wird.

In einem Modell berechnet Maier (1999) die gesamte minimale Feldfläche des Dorfes mit 10-18 ha für die Kultivierung der 210-280 kg Getreide pro Haus, während Vogt (2001 S. 449) einen jährlichen Bedarf von 100-200 kg pro Person annimmt und so einen Flächenbedarf von 23-68 ha errechnet. Beide kalkulieren mit einem durchschnittlichen Getreideertrag von 600-800 kg/ha. Neben den genannten Kulturpflanzen wurde eine große Anzahl verschiedener verzehrbare Wildpflanzen gesammelt, von denen der Haselnuss wegen ihres sehr hohen Kaloriengehaltes und des hohen Anteils der Pflanzen in der Siedlungsumgebung (siehe oben) eine hohe Bedeutung zugemessen werden muss. Durch den Siedlungsbrand im Jahr 3910 v. Chr. wurde möglicherweise die gesamte Getreideernte des Jahres vernichtet. In Reaktion auf diesen vermutlich schwerwiegenden Verlust wurden in großem Umfang Haselnüsse gesammelt und verzehrt, was sich durch eine regelrechte Schicht aus unverkohnten Haselnusschalen direkt über der Brandschicht abzeichnet (Maier 2001, S. 127).

#### 7.7.1.2 Anpassung des Modells WELASSIMO\_feldbau an die Siedlung von Hornstaad-Hörnle 1A

Das unter 6.2 beschriebene Modell verwendet eine Landschaft ohne bekannte jungneolithische Siedlung. Um die Simulation auf die Siedlung Hornstaad-Hörnle anzuwenden, müssen wenige Anpassungen des Modells durchgeführt werden. So wurde ein Kartenausschnitt von 14x10 km gewählt, an dessen östlichem Ende die Halbinsel Höri mit der darauf gelegenen Siedlung Hornstaad-Hörnle 1A liegt; die Halbinsel ist auf drei Seiten vom Bodensee umgeben, so dass alle Landnutzungsaktivitäten mit Ausnahme vom Fischfang westlich der Siedlung lokalisiert waren (Abb. 26). Höhendaten, Hangneigung und die Gehzeitberechnungen sind unter Verwendung eines digitalen Geländemodells (©LGL-Baden-Württemberg.de) mit 25 m Auflösung erstellt worden.

Die Geometrien von Flüssen und Seen wurde dem Wasser- und Bodenatlas von Baden-Württemberg (Leibundgut 2001) entnommen. Die Bodeneignungskarte basiert auf der recht groben Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg (M1:200.000). Zwar liegt mit der BK 50 (LGRB 2013) und insbesondere mit den Kartierungen von Vogt im Maßstab 1:5000 (2001, Beilage 4) eine vielfach höhere Auflösung vor; jedoch bildet dieser große Maßstab vor allem die anthropogenen Veränderungen der Bodenlandschaft seit dem Jungneolithikum in Form von Kolluvien und Siedlungsflächen ab. Der kleinere Maßstab ist daher besser geeignet, die naturräumlichen Bedingungen wiederzugeben; der Verlust an Details ist demgegenüber meiner Meinung nach weniger bedeutend. Generell werden auch im westlichen Bodenseegebiet die Substrate der Bodenbildung wesentlich durch glaziale Geschiebemergel mitbestimmt, jedoch spielen hier auch tertiäre Molassesedimente eine Rolle.

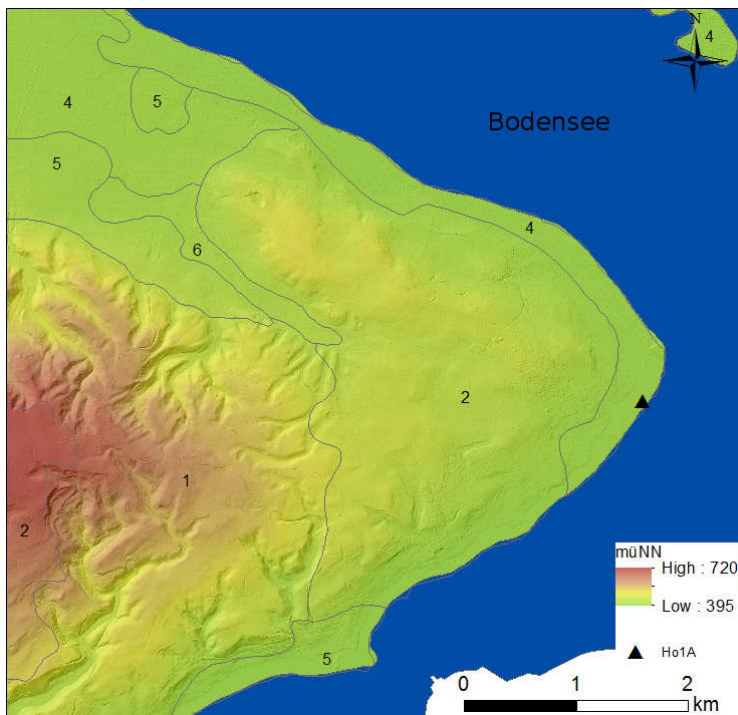


Abb. 26: Topografie, Höhenlage und Bodentypen in der Umgebung der Siedlung Hornstaad-Hörnle 1A. Ho1A: Siedlung Hornstaad-Hörnle 1A. Zahlencodes: 1: Braunerden und Parabraunerden aus Molassesedimenten. 2: Braunerden und Parabraunerden aus Geschiebemergel und Beckensedimenten. 4: Gley und Kalkgley. 5: Kolluvien. 6: Moore. Bodenkundliche Daten nach Ad-Hoc-Ag Boden (2008). Höhenmodell © LGL Baden-Württemberg.de

Die aus diesen Gesteinen hervorgegangenen Parabraunerden haben gegenüber denjenigen aus Moränenmaterial eine verringerte landwirtschaftliche Eignung, da sie ein geringeres Nährstoffangebot und eine stärkere Tendenz zum Versauern haben (Vogt 2001 S. 425). Andererseits waren sie durch ihren höheren Sand- und verringerten Lehmgehalt vermutlich mit einfachen Methoden leichter zu bearbeiten. Ein weiterer Unterschied zur Bodentypenverteilung im östlichen Bodenseegebiet sind die hier in der ehemaligen Flachwasserzone abgelagerten Seekreideschichten, aus denen sich Anmoorkalkgley und Kalkgley gebildet hat; diese sind für die landwirtschaftliche Nutzung nicht geeignet. Um die Böden hinsichtlich ihrer Nutzungsmöglichkeiten im Rahmen der verschiedenen Anbauverfahren zu klassifizieren, wurde für diese Fallstudie angenommen, dass die fruchtbareren Parabraunerden aus Moränenmaterial sowohl für GB und PB als auch für BB und BW verwendet werden können, während auf den sandigeren und weniger ertragreichen Parabraunerden aus Molasse lediglich BB

und BW durchgeführt wird. Diese Klassifizierung ist als relative Einordnung zu verstehen und soll nicht bedeuten, dass diese Böden generell für jungneolithischen Feldbau ungeeignet wären.

Um dem oben genannten Befund einer Nutzung der Wälder bereits um 3940 v. Chr. zu entsprechen, wurden für die Simulation zwei verschiedene Anteile von 20% und 100% Sekundärvegetation an der Gesamtfläche angenommen, wodurch sich der Anteil an für Brandfeldbau geeigneten Flächen gegenüber der Annahme eines reinen Primärwaldes entsprechend erhöht.

### 7.7.1.3 Simulation des Getreideanbaus in der Siedlung Hornstaad-Hörnle 1A

Die in diesem Abschnitt formulierten Szenarien erhalten das Kürzel Ho vorangestellt und orientieren sich ansonsten an den in Tab. 15. vorgestellten Szenarien. Pflugbau wurde nicht simuliert, weil so früh kein Pflugbau nachweisbar ist. Es wurden 3 Szenarien simuliert (siehe Tab. 19): in Ho\_S2 und Ho\_S5 wird auf einer permanent genutzten Fläche von 0,5 ha pro Haus intensiver Gartenfeldbau mit Einsatz von Mistdüngung in Höhe von 10 t/ha (bei Ho\_S2) bzw. ohne Mistdüngung (bei Ho\_S5) betrieben. In Ho\_S4 werden jährlich 0,2 ha Feldfläche mit Getreide kultiviert, die Flächen werden jährlich verlegt und mit Schwachholz einer 4-fach größeren Fläche überbrannt. Die unterschiedlichen Flächengrößen wurden gewählt, um eine Annäherung an den oben genannten minimalen Getreidevorrat der Siedlung Hornstaad-Hörnle 1A im Jahr 3910 v. Chr. von 210-280 kg pro Haus zu simulieren. In Abb. 27 ist die Ausdehnung der durch Feldbau geprägten Flächen nach einer Simulation von 10 Jahren abgebildet. Die entsprechenden numerischen Angaben sind Tab. 20 und Abb. 28 zu entnehmen. Wie schon in Kapitel 6.3 gezeigt, unterscheiden sich die Verfahren deutlich hinsichtlich ihres Flächenbedarfes und des erzielten Getreideertrags. Obwohl bei Ho\_S4 jährlich nur eine Feldfläche von 0,2 ha pro Haus im Vergleich zu 0,5 ha bei Ho\_S2 und Ho\_S5 mit Getreide eingesät wird, beträgt der Flächenbedarf im Verlauf von 10 Jahren mit 5,1-9,7 das 10-20 fache des Bedarfs der permanenten Verfahren. Dies bewirkt, dass nach 10 Jahren Anwendung von Ho\_S4 eine Gehzeit von bis zu 2 Stunden hin und zurück erforderlich ist. Im Vergleich dazu erfordern die permanenten Verfahren nur 27 Minuten Gehzeit. Die Annahmen von 0,2 ha Feldfläche bei Ho\_S4 bzw. 0,5 ha Feldfläche bei Ho\_S2 und Ho\_S5 erlauben eine Deckung des gesamten jährlichen Kalorienbedarfs von 29-82% (Ho\_S4), 29-91% (Ho\_S2) bzw. 5-52% (Ho\_S5). Die Abnahme der Bodenfruchtbarkeit macht sich bereits in den ersten 10 Jahren des Anbaus deutlich bemerkbar, so dass bei den beiden permanenten Anbauverfahren die Werte der Jahre 1-5 deutlich höher liegen als in den Jahren 6-10. In Abb. 30 und Abb. 29 ist die Entwicklung der durch Brandfeldbau überprägten Flächen im Verlauf von 10 Jahren bei unterschiedlichen Annahmen des Anteils von junger Sekundärvegetation an der Waldbedeckung dargestellt: in Abb. 30 beträgt dieser Anteil 20% der Fläche, während er in Abb. 29 100% beträgt. Wegen der erhöhten Eignung dieser Flächen für das Brandverfahren ist die resultierende Gesamtfläche im Verlauf der simulierten 10 Jahre deutlich kleiner.

Tab. 19: Szenarien zur Simulation von Getreidebau in der Siedlung Hornstaad-Hörnle 1A. Pflugbau ist zur Zeit der Siedlung sicher noch nicht relevant gewesen und wird deshalb hier auch nicht betrachtet

Szenario	Anbauverfahren	Düngung	Feldfläche	Hauszahl
Ho-S2	Gartenähnlicher Feldbau (GB)	10 t Mist/ha	0,5 ha	60
Ho-S4	Brandfeldbau, Waldbrache (BW)	Brandbedingt	0,2 ha	60
Ho-S5	Gartenähnlicher Feldbau (GB)	Ohne	0,5 ha	60

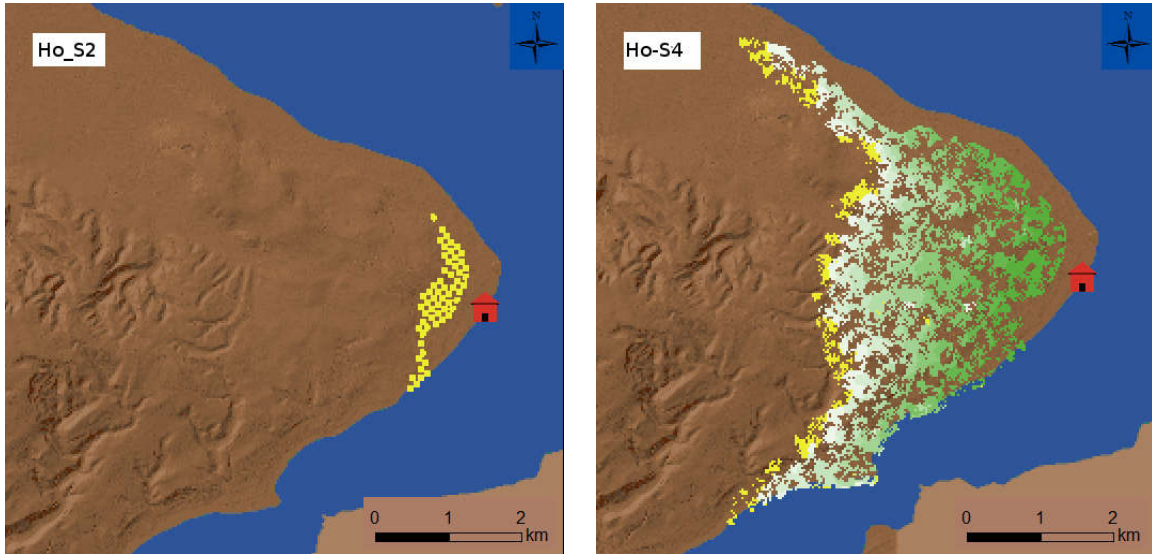


Abb. 27: Fallstudie zur Simulation des Getreideanbaus in der Siedlung Hornstaad-Hörnle 1A mit angenommenen 60 Häusern bei Annahme der Szenarien Ho\_S2 oder Ho\_S5 (0,5 ha Feldfläche/Haus) und Ho\_S4 (0,2 ha Feldfläche/Haus) (siehe Tab. 19). Dargestellt ist der Flächenbedarf für die Getreideanbauverfahren nach einer Laufzeit von 10 Jahren

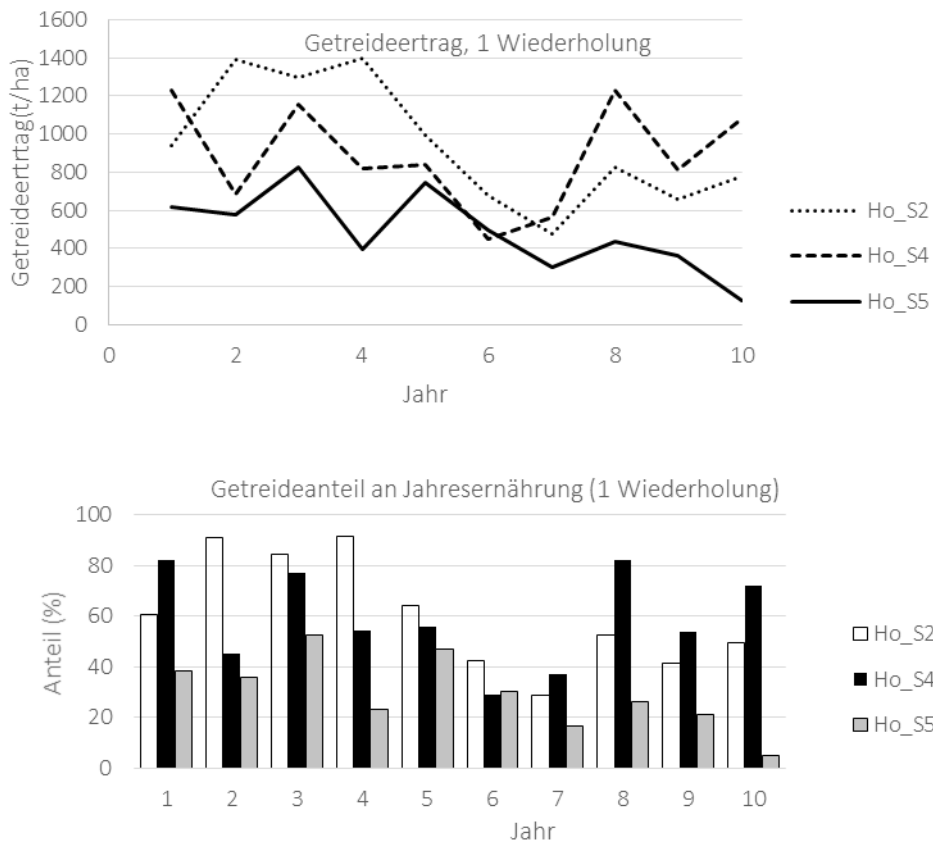


Abb. 28: Simulierter Getreideertrag eines Hauses der Siedlung Hornstaad-Hörnle 1A (oben) und potenzielle Deckung des Jahreskalorienbedarfs über Getreide (unten). Die Feldflächen betragen bei Ho\_S2 und Ho\_S5 0,5 ha und bei Ho\_S4 0,2 ha, die Laufzeit der Simulation beträgt 10 Jahre

Tab. 20: Ergebnisse der Simulation der Szenarien Ho\_S2, Ho\_S5 (nur von Ho\_S2 abweichende Werte: in kursiv) und Ho\_S4. Der Wertebereich in der Spalte „überprägte Fläche (km<sup>2</sup>)“ bei Ho\_S4 resultiert aus der Annahme verschiedener Anteile von Sekundärvegetation in der Landschaft (siehe Abb. 30 und Abb. 29

Szenario	Jahr	Anbaufläche/Haus (ha)	überprägte Fläche (km <sup>2</sup> )	max. Distanz der Felder (km)	(min)Gehzeit (hin und zurück)	simulierter Getreideertrag (kg)	verzehrbarer Getreidevorrat (kg)	potentieller Getreideanteil an Kalorienbedarf (%)
Ho_S2 (Ho_S5)	1	0,5	0,4	1,1	27	940 (617)	801 (510)	60 (38)
Ho_S2 (Ho_S5)	2	0,5	0,4	1,1	27	1392 (578)	1208 (475)	91 (36)
Ho_S2 (Ho_S5)	3	0,5	0,4	1,1	27	1295 (823)	1121 (696)	84 (52)
Ho_S2 (Ho_S5)	4	0,5	0,4	1,1	27	1397 (395)	1212 (311)	91 (23)
Ho_S2 (Ho_S5)	5	0,5	0,4	1,1	27	995 (743)	851 (624)	64 (47)
Ho_S2 (Ho_S5)	6	0,5	0,4	1,1	27	678 (498)	565 (403)	43 (30)
Ho_S2 (Ho_S5)	7	0,5	0,4	1,1	27	478 (298)	385 (223)	29 (17)
Ho_S2 (Ho_S5)	8	0,5	0,4	1,1	27	824 (438)	697 (349)	52 (26)
Ho_S2 (Ho_S5)	9	0,5	0,4	1,1	27	657 (363)	546 (282)	41 (21)
Ho_S2 (Ho_S5)	10	0,5	0,4	1,1	27	778 (124)	655 (67)	49 (5)
Ho_S4	1	0,2	0,6-1,1	1,7	41	1232	1091	82
Ho_S4	2	0,2	1,0-1,8	2,2	53	686	599	45
Ho_S4	3	0,2	1,4-2,9	2,6	62	1153	1020	77
Ho_S4	4	0,2	1,8-3,6	3	73	817	717	54
Ho_S4	5	0,2	2,7-4,5	3,4	82	842	740	56
Ho_S4	6	0,2	2,8-5,3	3,7	90	447	384	29
Ho_S4	7	0,2	3,0-6,5	3,9	95	564	490	37
Ho_S4	8	0,2	3,6-7,5	4,3	104	1229	1088	82
Ho_S4	9	0,2	4,2-8,6	4,6	110	813	714	54
Ho_S4	10	0,2	5,1-9,7	5	121	1079	953	72



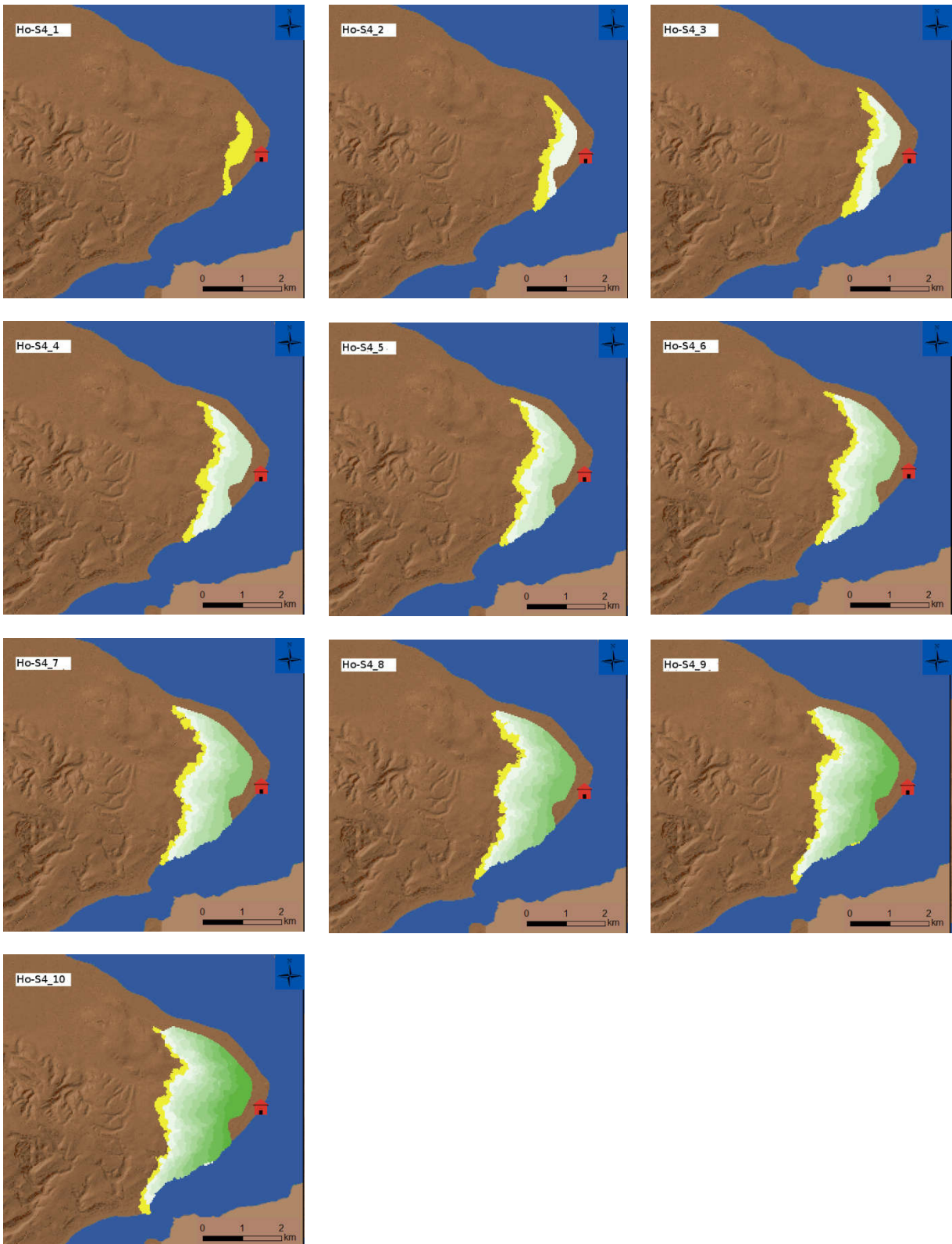


Abb. 29: Simulation des Szenarios Ho-S4 (siehe Tab. 16). Dargestellt ist die Entwicklung der durch den Brandfeldbau überprägten Flächen der Siedlung Hornstaad-Hörnle 1A im Verlauf von 10 Jahren bei Annahme einer Waldlandschaft mit hohem Anteil an anthropogen bedingter Sekundärvegetation (100%)

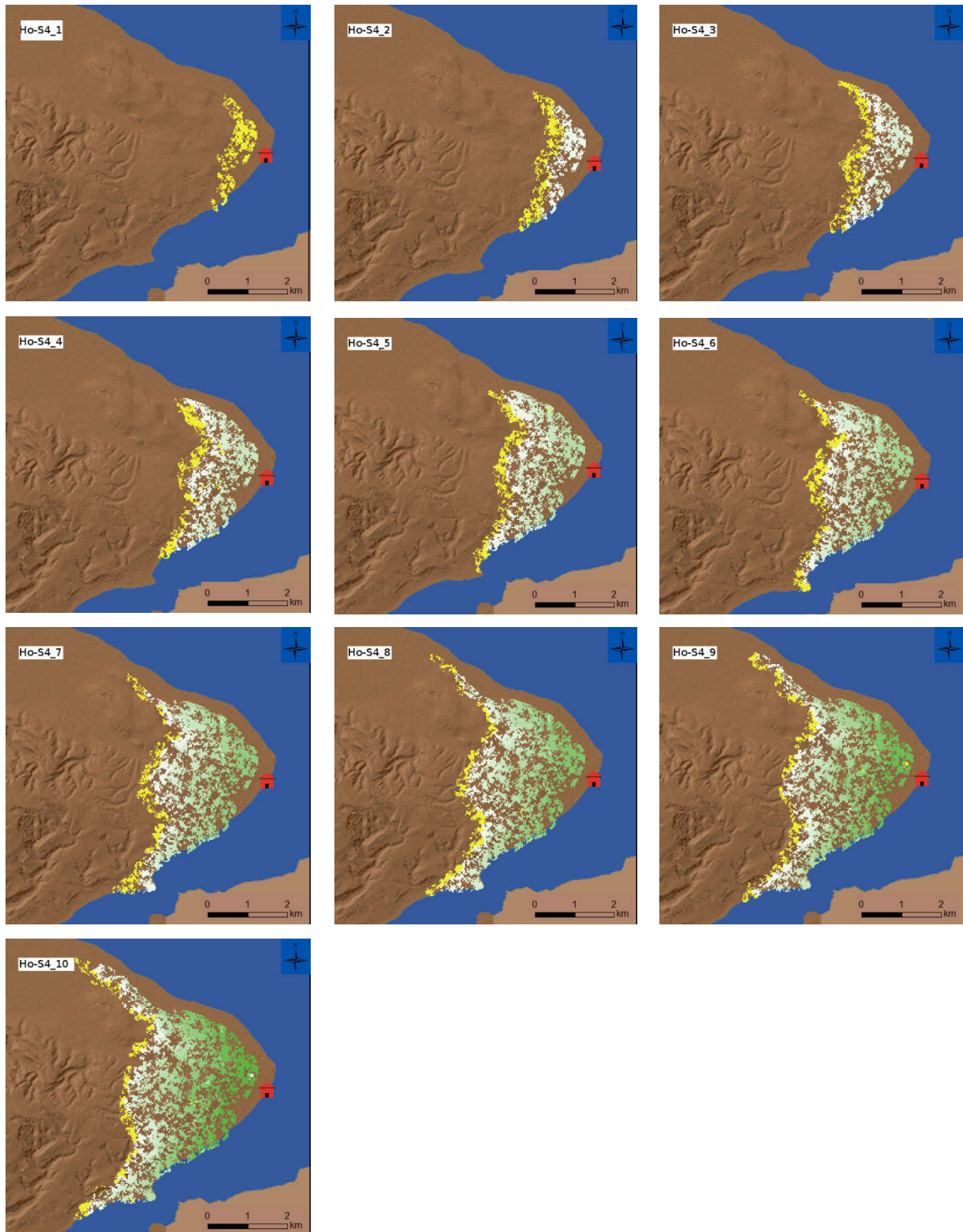


Abb. 30: Simulation des Szenarios Ho-S4 (siehe Tab. 16). Dargestellt ist die Entwicklung der durch den Brandfeldbau überprägten Flächen mit angenommenen 60 Häusern im Verlauf von 10 Jahren bei Annahme einer vorwiegenden Primärwaldbedeckung mit geringem Anteil (20%) an anthropogen bedingter Sekundärvegetation

#### 7.7.1.4 Diskussion der Ergebnisse

Welche Schlüsse können aus den oben erwähnten Getreidevorräten von 210-280 kg pro Haus gezogen werden? Unter den hier simulierten Szenarien bietet die Kombination von Ho\_S5 mit der Feldfläche von 0,5 ha die besten Vergleichswerte. Zum Zeitpunkt des Brandes wären die Feldflächen seit 8 Jahren für den Getreideanbau genutzt worden, was in der Simulation einem Getreideertrag von 200-400 kg pro Haus entspricht. In Ho\_S2 liegen die Getreideerträge bei 0,5 ha Feldfläche nach 10 Jahren in dieser Simulation bei 480-824 kg pro Haus, während in Ho\_S4 bei 0,2 ha Anbaufläche 447-1232 kg erzielt werden. Falls derartig geringe Getreidevorräte von 210-280 kg pro Haus und entsprechend niedrige Deckungen des jährlichen Kalorienbetrags den Normalfall dargestellt hätten, müsste man für beide letztgenannten Anbauverfahren sogar von noch kleineren Feldflächen ausgehen, um diese Werte zu erreichen. Diese Getreidemenge ermöglicht eine Deckung des jährlichen Kalorienbedarfs von lediglich 15-20%. Andererseits könnte es sich bei den 210-280 kg auch um den Getreideertrag eines sehr schlechten Jahres handeln, oder um nur einen Teil der gesamten Ernte des Jahres – in diesem Fall wäre auch ein beliebig höherer Anteil vorstellbar. Damit wird offenbar, dass die Frage der relativen Bedeutung des Getreidebaus bislang noch nicht einmal im Ansatz geklärt ist; denn selbst die Siedlung Hornstaad-Hörnle, die in dieser Hinsicht wohl den umfangreichsten Befund in der feuchtbodenarchäologischen Forschung liefert, ermöglicht lediglich die Abschätzung des minimalen Getreideanteils am jährlichen Kalorienbedarf während eines zufällig ausgewählten Jahres. Die Frage, ob das Getreide in der Siedlung auf permanenten Feldern oder auf jährlich verlegten und überbrannten Feldern angebaut wurde, kann auch hier nicht durch die Simulation beantwortet werden; beide Verfahren sind ohne weiteres simulierbar, es liegt auch keine Limitierung in Form eines zu geringen Flächenangebots vor. Jedoch muss man sich erneut die Frage stellen, wieso die Bewohner der Siedlungen die in Tab. 20 dargestellten hohen Entfernungen und Gehzeiten sowie die mit dem Brandverfahren verbundene hohe Arbeitsbelastung und die Verbrennung wichtiger Ressourcen (Bau- und Brennholz) gegenüber einem Anbau auf permanenten Feldern bevorzugen haben könnten.

### 7.7.2 Fallstudie: Sipplingen-Osthafen, Schicht 9

#### 7.7.2.1 Hintergrund

Die Siedlungsstelle Sipplingen-Osthafen liegt am Nordufer des Überlinger Arms des Bodensees. Die Topografie der Siedlungsstelle ist besonders geeignet, um Fragen des Flächenbedarfs für die wirtschaftlichen Aktivitäten zu diskutieren, weil im nahen Umfeld der Siedlung eine halbwegs ebene Fläche von lediglich 1,7km<sup>2</sup> (die sog. Sipplinger Bucht) verfügbar ist; diese Fläche ist auf drei Seiten von steilen Molassehängen gesäumt, während auf der vierten Seite der Bodensee die Landschaft begrenzt (siehe Abb. 31). Das sich oberhalb der Molasse-Steilstufe anschließende Gelände liegt um 50-150 m über dem Sipplinger Dreieck auf 550-600 müNN; entlang der Seeufer folgen die nächsten ebenen Bereiche in mindestens 3 km Entfernung. Die Stratigrafie der archäologischen Schichten in der Flachwasserzone sowie die Rekonstruktion der Besiedlungsdynamik und der Landnutzung wurden zuletzt von Billamboz et al. (2010) umfassend beschrieben. Für die Simulation wurde Schicht 9 (3711-3709 v. Chr.) ausgewählt, deren zugehöriges Dorf mit mindestens 100 Häusern zu den großen Feuchtbodensiedlungen gehört (siehe auch Ebersbach 2010a, S. 86).

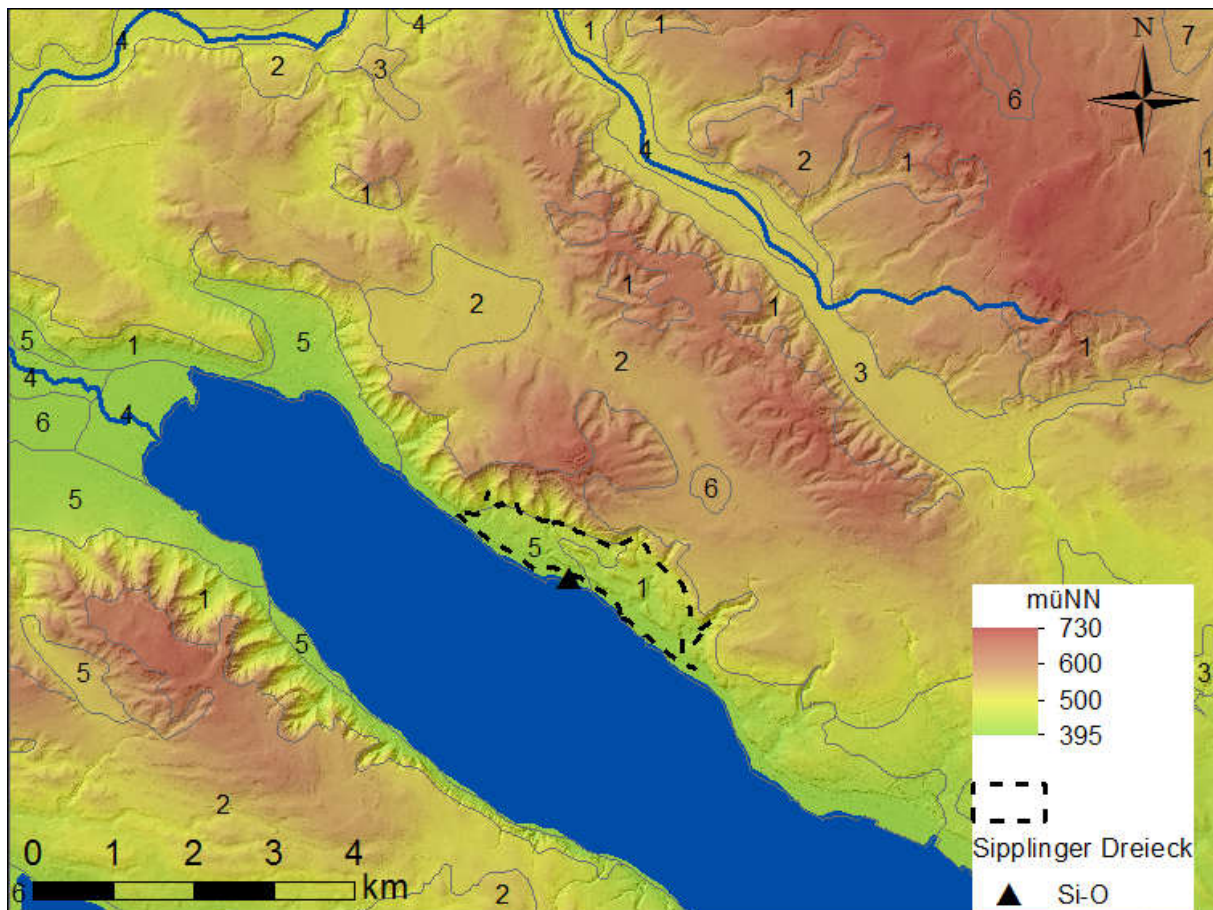


Abb. 31: Topografie, Höhenlage und Bodentypen in der Umgebung der Silinger Bucht. Si-O: Siedlung Silingen-Osthafen. 1: Braunerden und Parabraunerden aus Molassesedimenten. 2: Braunerden und Parabraunerden aus Geschiebemergel und Beckensedimenten. 3: Braunerden und Parabraunerden aus Schotter und Terrassensedimenten. 4: Anmoorgleye und Nassgleye. 5: Kolluvien. 6: Moore. 7: Pelosole und Braunerden aus Beckensedimenten. Bodenkundliche Daten nach Ad-Hoc-Ag Boden (2008). Höhenmodell © LGL Baden-Württemberg.de

#### 7.7.2.2 Anpassung des Modells WELASSIMO\_feldbau an die Siedlung von Sipplingen-Osthafen, Schicht 9

Die Anpassung des Modells WELASSIMO\_feldbau wurde in ähnlicher Weise vorgenommen wie bereits unter Kap. 7.7.1.2 für die Siedlungsstelle Hornstaad-Hörnle beschrieben und wird daher nicht im Detail besprochen.

#### 7.7.2.3 Simulation des Flächenbedarfs für Getreideanbau in der Siedlung Sipplingen-Osthafen, Schicht 9

Die in diesem Abschnitt formulierten Szenarien erhalten das Kürzel Si vorangestellt und orientieren sich ansonsten an den in Tab. 15 vorgestellten Szenarien. Es wurden 4 Szenarien simuliert (siehe Tab. 21), die alle von einer jährlichen Anbaufläche von 0,5 ha pro Haus ausgehen: in Si\_S1 wird Pflugbau ohne Düngung angenommen, in Si\_S2 intensiver Gartenbau mit Mistdüngung, in Si\_S4 und Si\_S4\_II Brandfeldbau mit Waldbrache (15 Jahre). Die beiden letztgenannten Szenarien unterscheiden sich durch die angenommene Dauer, mit der das Brandverfahren bereits in der Landschaft durchgeführt

wird: Während in Si\_S4 die erstmalige Nutzung der Flächen in einer von Primärwald bedeckten Landschaft angenommen wird, wird in Si\_S4\_II bereits seit 200 Jahren Brandfeldbau durchgeführt. Dadurch ist der ursprüngliche Primärwald komplett in ein Mosaik aus Sekundärwaldflächen verschiedener Altersstufen übergegangen, wodurch die erforderliche Fläche für den Anbau wegen des Fehlens von dicken und alten Waldbeständen vermindert wird. Dieser Effekt ist in Abb. 32 auf den unteren beiden Abbildungen deutlich zu erkennen. Aber selbst bei der Annahme eines hohen Anteils Sekundärvegetation und dem dadurch relativ geringeren Flächenbedarf liegt die gesamte Ausdehnung bei 44 km<sup>2</sup> in Si\_S4\_II (anstelle von 125 km<sup>2</sup> in Si\_S4). Diese Werte liegen auf drastische Weise über dem Flächenbedarf der Szenarien Si\_S1 und Si\_S2, in denen die Feldflächen der gesamten Siedlung nur eine Fläche von nur 0,6 bis 1,1 km<sup>2</sup> erfordern. Die Distanz zu den weitest entfernten Feldflächen unterscheidet sich zwischen den Brandverfahren mit 6,6 bzw. 8,7 km und den permanenten Verfahren mit 1,5 km auf ebenso deutliche Weise. Es wurde keine separate Simulation der Getreideerträge vorgenommen; stattdessen wird auf Simulationen des Getreideertrags und der entsprechenden Deckung des jährlichen Kalorienbedarfs in Kap. 7.7.1.3 verwiesen, die sich auf eine Feldfläche von 0,5 ha und eine Laufzeit von 10 Jahren beziehen.

Tab. 21 Szenarien zur Simulation von Getreidebau in der Siedlung Sipplingen-Osthafen Schicht 9 (3711-3709 v. Chr.). Die Szenarien Si\_S4 und Si\_S4\_II unterscheiden sich nicht im Anbauverfahren, sondern im Anteil an Sekundärvegetation (Sek.-Veg.) in der genutzten Landschaft

Szenario	Anbauverfahren	Düngung	Feldfläche	Häuser	Sek.-Veg.
Si_S1	Pflugfeldbau (PB)	Ohne	0,5 ha	100	0%
Si_S2	Gartenähnlicher Feldbau (GB)	10t Mist	0,5 ha	100	0%
Si_S4	Brandfeldbau,Waldbrache (BW)	Brand	0,5 ha	100	0%
Si_S4_II	Brandfeldbau,Waldbrache (BW)	Brand	0,5 ha	100	100%

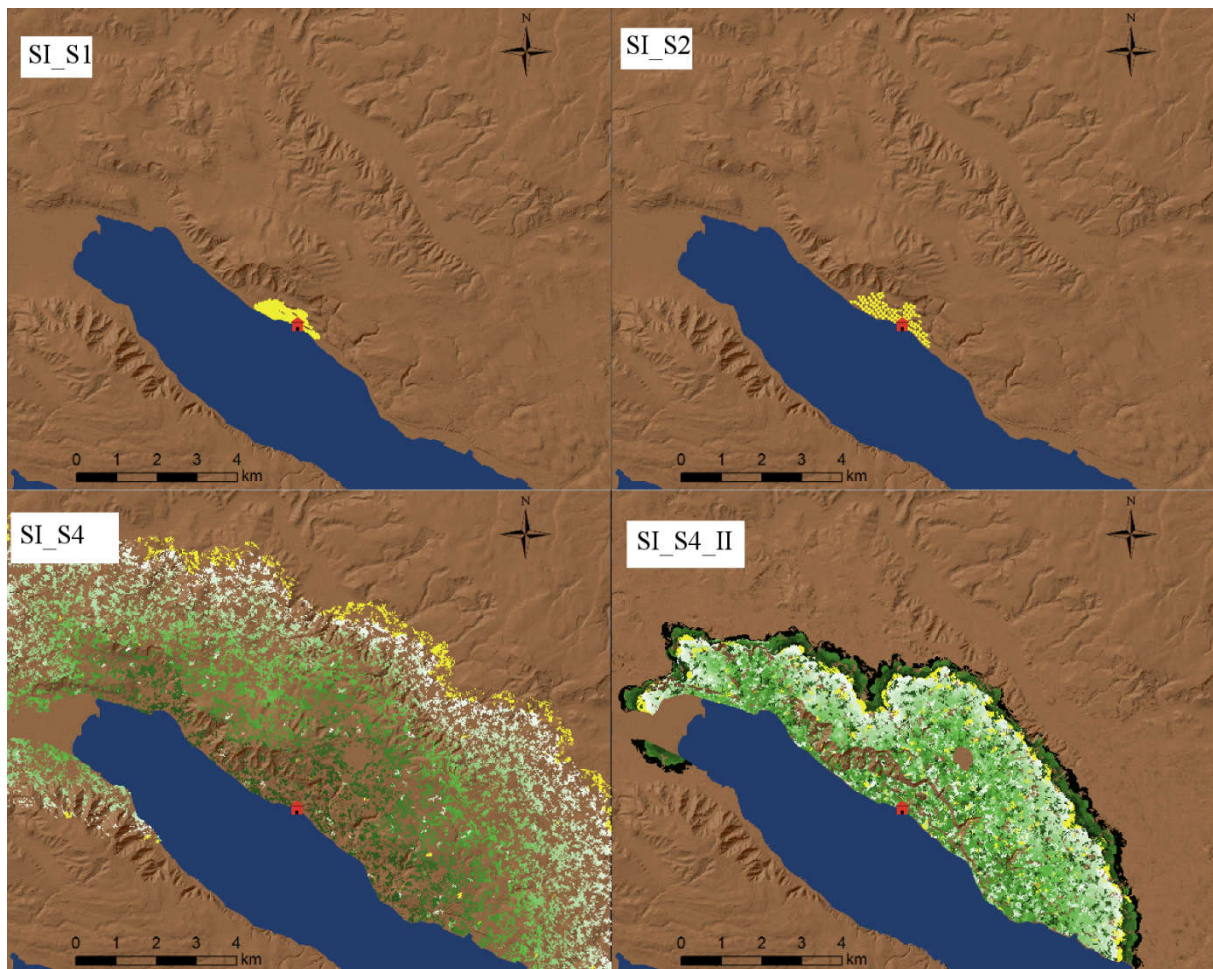


Abb. 32: Fallstudie zur Abschätzung des Flächenbedarfs für Getreideanbau der Siedlung Silingen-Osthafen Schicht 9 mit ca. 100 Häusern unter Annahme einer Feldfläche von je 0,5 ha bei drei verschiedenen Szenarien (S1, S2 und S4, siehe Tab. 21) und zwei verschiedenen Vegetationstypen: Primärwald in S4 und Sekundärwald in S4\_II. Gelb sind aktuelle Feldflächen, der Übergang von weiß nach dunkelgrün steht für zunehmendes Alter der Brachflächen bzw. der sich einstellenden Sekundärvegetation. Braune Flächen sind nicht durch Feldbau beeinflusst

#### 7.7.2.4 Diskussion der Ergebnisse

Wie oben angedeutet, ist die Topografie der Sipplinger Bucht in besonderer Weise geeignet, um die Auswirkungen der verschiedenen Landnutzungsverfahren miteinander zu vergleichen. Das Sipplinger Dreieck besitzt durch seine Seenähe, seine Südexposition und den Schutz vor kalten Nordostwinden eine klimatisch außerordentlich begünstigte Lage. Außerhalb des Dreiecks liegen die nächsten feldbaueigneten Flächen auf ähnlicher Meereshöhe in mindestens 3 km Entfernung entlang der Uferlinie; näher gelegene, ebene Flächen mit fruchtbaren Parabraunerden aus Moränenmaterial befinden sich in nur 1-1,5 km Entfernung; diese Flächen liegen jedoch bereits auf einer Meereshöhe von 550-600 müNN und haben daher wahrscheinlich im Vergleich mit der eigentlichen Sipplinger Bucht ein verringertes Ertragspotential (siehe Kap. 6.4.5). Bei einer angenommenen Feldfläche von 0,5 ha pro Haus und 100 Häusern reicht die Fläche innerhalb des Sipplinger Dreiecks also aus, um alle Feldflächen innerhalb des Sipplinger Dreiecks zu verorten. Für den Zeitraum 3711-3709 v. Chr. kann wiederum der Pflugbau (Si\_S1) ausgeschlossen werden und wird hier nur zu Vergleichszwecken abgebildet. Si\_S2 geht von intensivem Gartenbau und Düngung in Höhe von 10 t/ha/a aus. Für die Annahme von

Mistdüngung muss jedoch gefragt werden, ob die zur Erzeugung einer solchen Menge Kuhmist erforderlichen 330 Kühe für die gesamte Siedlung tatsächlich alle in ausreichender räumlicher Nähe zu den Feldern gehalten werden konnten, um eine gezielte Verwendung ihres Dungs zu ermöglichen – und ob eine solch große Herde Kühe überhaupt ein realistisches Szenario darstellt. Wie in Kap. 9.3 diskutiert wird, ist der Flächenbedarf für die Viehhaltung beträchtlich und würde für eine Herde Kühe von 330 Tieren je nach Offenheitsgrad der Landschaft zwischen 7 und 40 km<sup>2</sup> erfordern (was in etwa der in Abb. 32 SI\_S4\_II dargestellten Fläche für Brandfeldbau entspricht). Es erscheint schwer vorstellbar, dass der Kuhdung aus dieser Entfernung von maximal 5-6 km bis auf die Felder ins Sipplinger Dreieck gebracht worden sein könnte – allenfalls könnten die Rinder allabendlich ins Sipplinger Dreieck getrieben worden sein, um so wenigstens einen Teil ihrer wertvollen Fracht in die Nähe der Felder zu bringen. Wie bereits in Kap. 7.5.2.2 diskutiert wurde, können Styring et al. (2016) anhand der Signatur von Stickstoffisotopen in Getreidefunden aus Sipplingen-Osthafen jedoch eine Mistdüngung der Getreidefelder nachweisen – daraus wird die Notwendigkeit deutlich, sich der Frage der Verzahnung der verschiedenen wirtschaftlichen Aktivitäten verstärkt zuzuwenden. Im Folgenden Kap. 8 wird ein entsprechender Ansatz vorgestellt.

Wie schon für die Siedlung Hornstaad-Hörnle 1A in Kap. 7.7.1.4 diskutiert, muss man sich bezüglich des Anbauverfahrens auch hier fragen, welchen Vorteil die Anwendung eines Brandverfahrens gegenüber der Annahme von permanenten Anbauverfahren hätte, der die offenkundigen Nachteile der sehr weiten Entfernungen zu den Feldflächen aufwiegen könnte.

## 8 Simulation des Flächenbedarfs für die Subsistenzwirtschaft: Das Modell WELASSIMO\_fläche

### 8.1 Fragestellung

Die Grundidee von WELASSIMO\_fläche ist es, den Flächenbedarf und die Ernährung der Siedlungen nicht nur unter Berücksichtigung des Getreideanbaus zu simulieren, sondern darüber hinaus weitere grundlegende Verfahren der Landnutzung zu integrieren. Diese umfassen neben Prozessen zur Deckung des Kalorienbedarfs – dem Sammeln von Wildpflanzen, der Jagd und dem Fischfang – auch die Rinderhaltung, die Brennholznutzung und die Bauholznutzung. Da der Flächenbedarf für die Deckung des Ressourcenbedarfs stark vom Ressourcenangebot der Siedlungsumwelt abhängt, musste eine verlässliche (oder zumindest transparente) Methode der Quantifizierung der relevanten Ressourcen pro Flächeneinheit gefunden werden. Jedoch war die Siedlungsumwelt weder während der Laufzeit einer Siedlung, noch im Verlauf des Untersuchungszeitraumes von 4000 v. Chr. bis 2400 v. Chr. statisch, sondern veränderte sich beständig durch die Auswirkung von verschiedenen anthropogenen und natürlichen Prozessen. Für eine detaillierte Simulation des komplexen Mensch-Umwelt-Systems der Feuchtbodensiedlungen unter Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung der anthropogenen und natürlichen Prozesse müsste eine zeitliche Skala von weniger als einem Jahr gewählt werden, und insbesondere die Darstellung der Vegetationsentwicklung würde in diesem Zusammenhang die Integration von etablierten vegetationskundlichen Simulationsmodellen erfordern. Dies wurde im Kontext der hier vorgelegten Arbeit versucht, wurde jedoch innerhalb des zur Verfügung stehenden zeitlichen Rahmens als nicht durchführbar erkannt. Der Artikel „Simulating Land Use of Prehistoric Wetland Settlements: Did Excessive Resource Use Necessitate a Highly Dynamic Settlement System?“ (Baum 2016b) beschreibt das Vorgehen und erste Ergebnisse dieses Versuchs.

Stattdessen wurde hier eine Methode entwickelt, um den Flächenbedarf und die Ernährung der Siedlungen unter der Annahme vorgegebener, definierter Landschaften und Wirtschaftsweisen zu simulieren. Dabei wurden in geringem Umfang auch degradierende und regenerierende Prozesse integriert, wobei aber die entsprechenden Algorithmen von begrenzter Gültigkeit sind und zum großen Teil auf Annahmen beruhen. Das Resultat ist ein Modell, welches zwar die gegenseitige Beeinflussung der Landnutzungsaktivitäten nicht in dem Maße zu simulieren vermag wie es meine ursprüngliche Absicht gewesen ist, dafür aber für genau definierte Rahmenbedingungen klare Ergebnisse zu liefern vermag.

### 8.2 Beschreibung des Modells

Wie schon für das Simulationsmodell WELASSIMO\_feldbau beschrieben, werden die Ergebnisse auch in WELASSIMO\_fläche durch Simulation des zu untersuchenden Systems erzielt. Das Modell WELASSIMO\_fläche baut direkt auf dem Modell WELASSIMO\_feldbau auf. Es verwendet mit NETLOGO die gleiche Modellierungsumgebung wie WELASSIMO\_feldbau, und auch die Zellgröße und -anzahl sowie die physische Umgebung der Siedlung sowie die jährliche Auflösung sind mit jenem identisch. Die wichtigste Erweiterung des Modells besteht in der Integration weiterer Prozesse der Landnutzung über den Getreidebau hinaus und in der Simulation der gesamten Nahrungsversorgung. Nicht berücksichtigt wurde dagegen der anorganische Rohstoffbedarf, also z.B. Ton für die Keramikproduktion oder Silex für die Werkzeugherstellung. Die handelnden Agenten sind auch hier Modellhaushalte (MHs), dazu kommen Grossvieheinheiten (GVEs). Das Ziel des Modells ist die Simulation von Landnutzungsaktivitäten, um die dafür erforderlichen Fläche und der Variabilität der Kalorienversorgung in den Neolithischen Feuchtbodensiedlungen zu ermitteln. Durch die Modellbildung wird auch ein



vertieftes Verständnis der gegenseitigen Beeinflussung von anthropogenen und natürlichen Prozessen in den Feuchtbodensiedlungen angestrebt. In Abb. 16 ist eine Konzeptkarte des sozio-ökologischen Systems der neolithischen Feuchtbodensiedlungen im nordwestlichen Alpenvorland dargestellt, in welcher auch das Verhältnis der Konzepte von WELASSIMO\_feldbau zu WELASSIMO\_fläche dargestellt ist.

### 8.2.1 Methode der agentenbasierten Simulation mit WELASSIMO\_fläche

Im Zentrum der Modelllandschaft befindet sich eine variable Anzahl an Agenten der Typen „Modellhaushalt“ (MH) und „Großvieheinheit“ (GVE).

Die MHs haben einen standardisierten Kalorienbedarf von 2000 kcal, der nach einem bestimmten Schlüssel zu decken ist. Getreide spielt hierbei die wichtigste Rolle, weitere Kalorien werden durch den Verzehr von Haustierprodukten (Fleisch und Milchprodukten) sowie Jagen/Sammeln/Fischen erworben. Die Zellen enthalten für diesen Zweck weitere Attribute, die ihr Ressourcenpotenzial widerspiegeln (Tab 6B); dieser Wert gibt an, welcher Anteil des Ressourcenbedarfs eines MHs bzw. des Futterbedarfs einer GVE durch die jeweilige Zelle gedeckt werden kann. Die Beträge sind zum Teil veränderlich und werden durch den Vegetationstyp auf der Zelle sowie eventuell durch die vorangegangenen Nutzungsarten bestimmt. Die verschiedenen Prozesse der Landnutzung werden durch MHs und GVEs durchgeführt, indem diese nacheinander die Zellen mit der geringsten relativen Gehzeit aufsuchen und das Ressourcenpotential nutzen. Dies erfolgt solange, bis entweder die voreingestellte Feldgröße bewirtschaftet ist, oder ausreichend Ressourcen der entsprechenden Kategorie erworben sind. Dabei folgen die Agenten einfachen Regeln:

- MHs bewegen sich immer zuerst zu den Festland-Zellen (nur bei Fischfang: Wasser-Zellen) mit den geringsten relativen Gehzeit, um Nahrung zu sammeln, zu jagen, Holz zu sammeln oder Bauholz zu ernten, auch wenn der Wert des jeweiligen Ressourcenpotenzials = 0 ist. Das gleiche gilt für GVEs, um ihren Bedarf an Futter zu stillen. Eine weitere Differenzierung der Wertigkeit erfolgt nicht a priori. Sie entnehmen immer das gesamte Ressourcenpotenzial dieser Zelle, setzen den Wert auf 0 und bewegen sich dann zur nächsten Zelle. Wenn ihr Ressourcenbedarf gedeckt ist, beenden sie ihre Aktion und kehren zur Siedlung zurück.

- Nur für den Prozess des Feldbaus erfolgt eine weitere Differenzierung der Zellattribute, indem der besonders feldbaue geeignete Bodentyp „Parabraunerde“ bevorzugt wird.

Der gesamte Flächenbedarf für die Deckung des Kalorienbedarfs wird in einem mehrstufigen Prozess berechnet. Zunächst wird von einer definierten Feldfläche ausgegangen, die zwischen 0,4 und 1 ha beträgt. Ich nehme an, dass die Feldgröße sich im Lauf von Jahrhunderten auf ein bestimmtes, für eine Region und Kultur typisches Maß eingependelt hat, welches sich einerseits an der vorhandenen Arbeitskapazität orientiert hat, andererseits die erworbenen Kenntnisse über Ertragsschwankungen berücksichtigt hat. Ob die hier angenommenen Flächengrößen den tatsächlichen ähnlich waren, kann nicht durch unabhängige Daten überprüft werden. Ich halte diese Feldgrößen aber für gute Näherungen an mögliche neolithische Bedingungen. In Kap. 6 konnte gezeigt werden, dass Flächengrößen von einem Hektar bei permanenten Anbauverfahren und 0,5 ha bei den Brandverfahren keine Überlastung der Arbeitskapazität der Modellhäuser darstellen. Sofern die in Kap. 6.4 vorgestellten Ergebnisse der Getreideertragssimulation mit MONICA (Nendel et al. 2011) den neolithischen Wirklichkeiten nahekommen (wovon ich ausgehe), dann sind mit diesen Flächengrößen Getreideanteile an der Gesamternährung von 50-100% zu erzielen.

Der Getreideertrag schwankt zum einen wetterbedingt von Jahr zu Jahr und nimmt in den permanenten Verfahren auch wegen der Abnahme der Bodenfruchtbarkeit (siehe Abb. 23) kontinuierlich ab, wodurch ein wechselnder Anteil des gesamten Kalorienbedarfs durch Getreide abgedeckt wird. Zu diesem Betrag kommt ein „Sockelbetrag“ von insgesamt 14-23%, der sich aus 3% Fisch, 4% Jagdwildfleisch, 6% Sammelpflanzen und 1-10% Haustierprodukten (Fleisch und Milch) zusammensetzt. Wenn die Summe aus Getreideertrag und „Sockelbetrag“ keine 100% beträgt, müssen weitere Kalorien gewonnen werden, was in diesem Modell ausschließlich durch Jagen und Sammeln in einem Verhältnis von 40:60 erreicht wird. Das Modell ist nicht durch Arbeitskraft limitiert, d.h. es wird so lange weiter gejagt und gesammelt, bis 100% des erforderlichen Kalorienbedarfs gedeckt sind.

Diese Prozentangaben sind reine Annahmen und wurden zu Vergleichszwecken erstellt. Sie beanspruchen keine generelle Gültigkeit – tatsächlich muss auch davon ausgegangen werden, dass die Verhältnisse im Untersuchungsgebiet lokal, regional und zeitlich stark schwankten. Aus diesem Grund habe ich mich dazu entschieden, frühere Arbeiten über die Nahrungszusammensetzung (z.B. Gross et al 1990; Ebersbach 2003) hier nicht zu berücksichtigen, sondern diese in der Synthese (Kap. 10) mit dem hier vorgestellten Modell gemeinsam zu diskutieren. Die genannten Aktivitäten zur Kalorienbedarfsdeckung bedingen gemäß der angenommenen Verfügbarkeit der entsprechenden Resource einen bestimmten Flächenbedarf, der aus den Berechnungen in Kap.8.4 hervorgeht und in Tab. 35 dargestellt ist. Die Deckung des Bedarfs an Bau- und Brennholz sowie Weidefläche wird auf gleich Weise sichergestellt, indem ein Agent so lange neue Zellen aufsucht und diese als im aktuellen Jahr genutzt kennzeichnet, bis der Bedarf gedeckt ist.

Die Datengrundlagen, Annahmen und Berechnungen zum Bedarf eines Modellhauses und dem Ressourcenpotential bestimmter Landschaftselemente werden unter Kap. 8.2.6 bis 8.2.10 erläutert. Um den Flächenbedarf für eine bestimmte Wirtschaftsweise in einem Landschaftszenario zu quantifizieren, müssen beide Elemente „Wirtschaftsweise“ und „Landschaft“ zunächst genauer definiert werden. Da aber weder das eine noch das andere durch ein einziges, allgemeingültiges Szenario beschreibbar ist, werden zwei Sets an Szenarien definiert, die jeweils verschiedene Hypothesen integrieren. In Tab. 22 sind sechs Landschaftsszenarien (LD\_S1-LD\_S6) definiert, in Tab. 24 fünf ökonomische Szenarien (OES\_1-OES\_5). Für die Untersuchung werden alle möglichen Kombinationen der Landschafts- und der ökonomischen Szenarien gerechnet, also LD\_S1 x OES\_1, LD\_S1 x OES\_2, LD\_S1 x OES\_3(...), LD\_S2 x OES\_1, LD\_S2 x OES\_2, LD\_S2 x OES\_3 etc. Daraus werden dann die Schwankung der einzelnen Nahrungselemente und der resultierende Flächenbedarf ermittelt, was wiederum in Kap. 8.4 als Grundlage zur Bildung eines Modells des Flächenbedarfs eines Modellhauses für ökonomische Aktivitäten verwendet wird.

## 8.2.2 Die Definition von Landschaftsszenarien

Um den Flächenbedarf für ein ökonomisches Szenario in einer bestimmten Landschaft zu ermitteln, beschreibe ich sechs Landschaftsszenarien LD\_S1 bis LD\_S6. Diese stellen jeweils eine definierte Kombination aus verschiedenen Landschaftselementen dar (siehe Tab. 22). In der Simulation verwende ich die bereits in WELASSIMO\_feldbau vorgestellte Modelllandschaft, die jedoch auf zwei Weisen modifiziert wurde: Erstens habe ich die Fläche in alle vier Himmelsrichtungen um 8,5 km erweitert, so dass das Gebiet jetzt 22x22 km umfasst (HINWEIS: dies sollte die Simulation auch großer Siedlungen ermöglichen und entspricht den Abbildungen Abb. 33-Abb. 42; wegen sehr hohem Zeitbedarf für das Rechnen der komplexen Simulation wurde die Fläche später doch wieder auf die ursprüngliche Ausdehnung reduziert, und die Simulationen wurden nur für ein Haus durchgeführt). Zweitens werden eben zusätzlich zu dem bereits in WELASSIMO\_feldbau angenommenen initialen Anteil von 100% Primärwald (was hier LD\_S1 entspricht) die weiteren Landschaftsszenarien LD\_S2 bis LD\_S6 der

Simulation zugrunde gelegt (siehe Abb. 33 und Abb. 34 sowie Tab. 22). Es werden also insgesamt 6 verschiedene Ausgangssituationen für die Simulation der ökonomischen Szenarien modelliert, um zu untersuchen, welcher Flächenbedarf jeweils daraus resultiert.

Tab. 22 Definition der Landschaftsszenarien in WELASSIMO\_Fläche

<b>LD_S1</b>	Beschreibung:	natürliche, menschlich unbeeinflusste Waldlandschaft
	Landschaftselemente:	Primärwald, Niedermoore, Seen: 100%
<b>LD_S2</b>	Beschreibung:	Landnutzung < 50 Jahre. Durch Feuereinsatz, Waldweide und Waldnutzung entstandenes Vegetationsmosaik
	Landschaftselemente:	Primärwald, Niedermoore, Seen: 80%; Sekundärwald: 15%; Brachflächen: 5%
<b>LD_S3</b>	Beschreibung:	Landnutzung > 50 Jahre. Durch Feuereinsatz, Waldweide und Waldnutzung entstandenes Vegetationsmosaik
	Landschaftselemente:	Primärwald, Niedermoore, Seen: 60%; Sekundärwald: 30%; Waldgarten: 5%; Brachflächen: 5%
<b>LD_S4</b>	Beschreibung:	Landnutzung > 100 Jahre. Landschaft mit mittlerem Primärwaldanteil, zusätzlich Sekundärwald, Waldgarten, Hudewälder und Brachflächen
	Landschaftselemente:	Primärwald, Niedermoore, Seen: 40%; Sekundärwald: 30%; Waldgarten: 5%; Hudewald: 15%; Brachflächen: 10%;
<b>LD_S5</b>	Beschreibung:	Landnutzung > 500 Jahre. geringer Primärwaldanteil, stattdessen Sekundärwald, Waldgarten, Hudewald, Brachflächen und erste Grünlandanteile
	Landschaftselemente:	Primärwald, Niedermoore, Seen: 30%; Sekundärwald: 35%; Waldgarten: 5%; Hudewald: 15%; Brachflächen: 10%; Grünland: 5%
<b>LD_S6</b>	Beschreibung:	Landnutzung > 1000 Jahre. Kaum Primärwald, stattdessen Sekundärwald, Waldgarten, Hudewald, Brachflächen und größere Grünlandanteile
	Landschaftselemente:	Primärwald, Niedermoore, Seen: 10%; Sekundärwald: 40%; Waldgarten: 5%; Hudewald: 15%; Brachflächen: 15%; Grünland: 15%

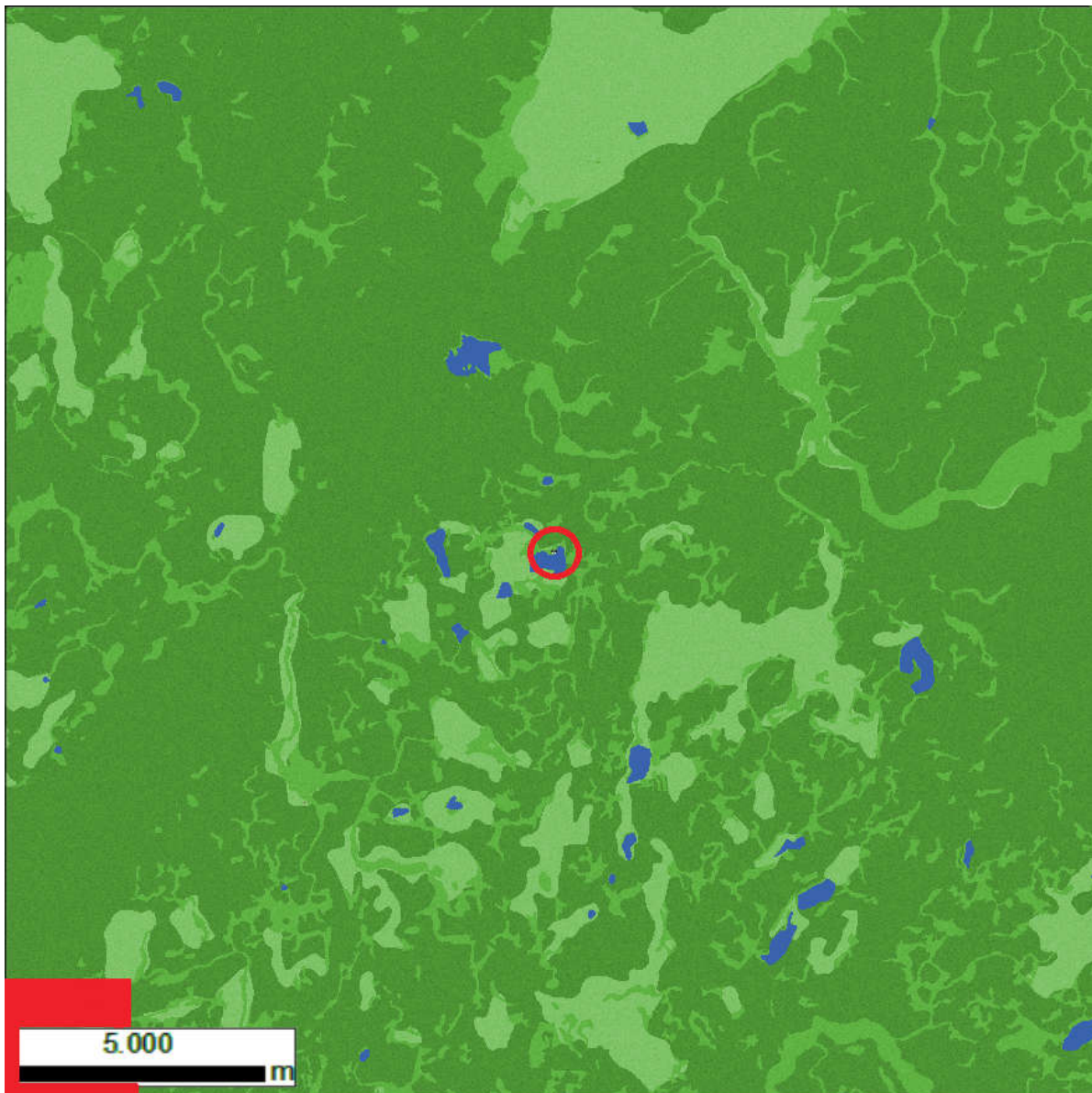


Abb. 33: Modelllandschaft bei Annahme des Landschaftsszenarios LD\_S1 mit einer Ausdehnung von 22x22 km als Grundlage für die Simulation des Flächenbedarfs einer Feuchtbodensiedlung für die ökonomischen Szenarien OES\_1 bis OES\_5. Die Siedlungsstelle für die Simulation befindet sich im Zentrum des roten Kreises. Die Landschaft ist aus 776160 Zellen von je 25x25 m aufgebaut. Hellgrüne Farben stehen für Niedermoor, mittelgrüne für Gley, dunkelgrüne für Parabraunerden, blau für offenes Wasser. Das rote Quadrat in der linken unteren Ecke gibt die Position der in Abb. 34 bis Abb. 42

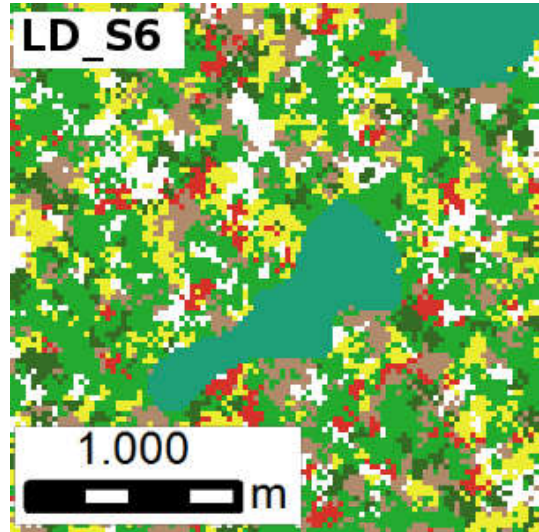
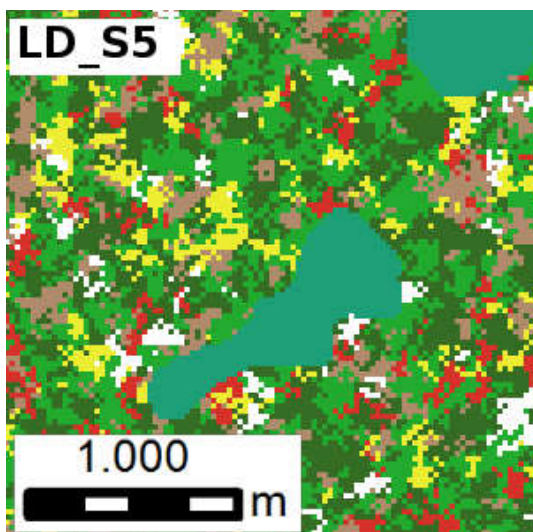
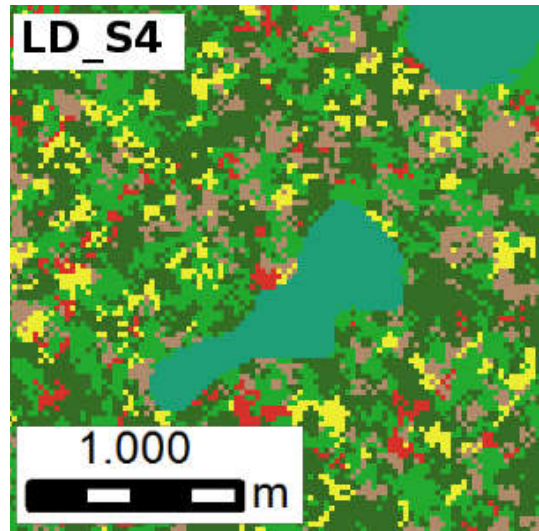
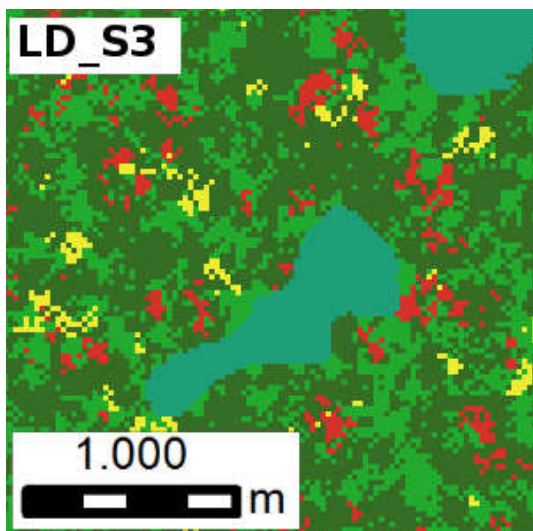
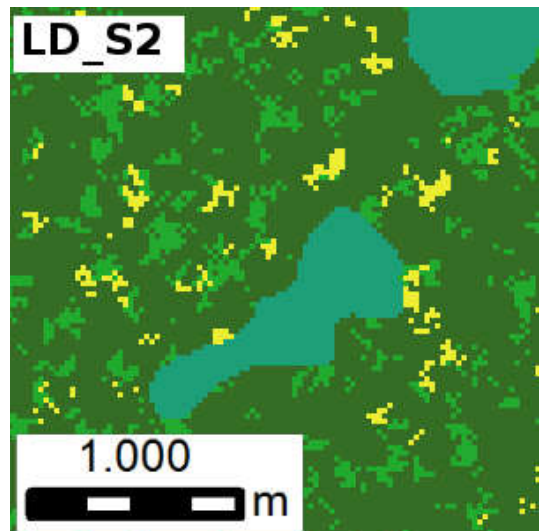
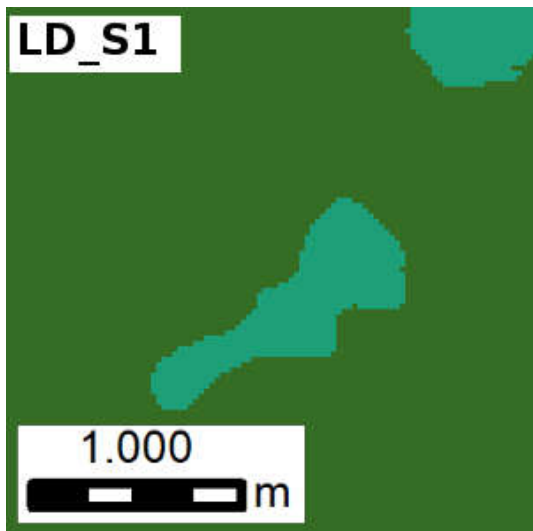


Abb. 34: Vergrößerter Ausschnitt aus der in Abb. 33 dargestellten Modelllandschaft unter Verwendung der Szenarien LD\_S1 bis LD\_S6 (Tab. 22 und Tab. 23)

Die Landschaftsszenarien sind durch zwei Gradienten definiert: durch das Verhältnis Bewaldungsgrad zu Offenlandanteil einerseits und durch den Anteil des Primärwaldes am Bewaldungsgrad andererseits. Während in LD\_S1 also ein Bewaldungsgrad von 100% und darin ein Primärwaldanteil von ebenfalls 100% angenommen werden, nehmen beide Anteile mit höheren Nummern der Landschaftsszenarien sukzessive ab, während der Offenlandanteil und die anthropogen beeinflussten Waldtypen zunehmen. LD\_S2 hat also einen Primärwaldanteil (inkl. Wasserflächen und Niedermoo-re) von nur noch 80%, während 15% anthropogen beeinflusster Niederwald sind und auf 5% der Waldfläche der Landschaftstyp Waldgarten (siehe unten) angenommen wird. LD\_S6 hat dann einen Primärwaldanteil von nur noch 10% der Fläche, während weitere 40% / 5% / 15% / 15% / 15% von Sekundärwald / Waldgarten / Hutewald / Brachflächen / Grünland bedeckt sind. In Abb. 34 ist ein Ausschnitt aus der linken unteren Ecke (rot markiert) von Abb. 33 abgebildet, der die Umsetzung des Konzepts der Landschaftsszenarien in NETLOGO verdeutlicht. Darin sind in verschiedenen Farben die unterschiedlichen Landschaftselemente dargestellt, aus denen sich das in den jeweiligen Szenarien angenommene Landschaftsmosaik zusammensetzt. Die Anteile der Farbwerte an der Gesamtfläche entsprechen den in Tab. 22 definierten Prozentwerten. Für die Komposition der Landschaftsszenarien wurde ein Code in NETLOGO erstellt, der zu Beginn der Simulation ein randomisiertes Mosaik aus den Landschaftselementen gemäß den definierten Prozentanteilen erstellt.

### 8.2.3 Das Ressourcenangebot der Landschaftselemente

Für die Simulationen ist jeweils die gesamte Fläche der Modelllandschaft von 22x22 km (bzw. 5x5 km) von dem Mosaik aus den verschiedenen Landschaftselementen bedeckt. Für die einzelnen Landschaftselemente wurde jeweils ein definiertes Ressourcenangebot angenommen, welches in Tab. 23 dargestellt ist. Die Herleitung und Begründung der quantitativen Angaben zur Ressourcenverfügbarkeit pro Hektar werden in den folgenden Kapiteln 8.2.6 ff. beschrieben. In den Zeilen von Tab. 23 sind die Landschaftselemente sowie eventuelle Subtypen aufgetragen.

Tab. 23: Potenzieller Ertrag unterschiedlicher Landschaftselemente an Viehfutter, Brennholz, Bauholz, Kalorien durch Jagen und Sammeln und Kalorien durch Fischfang. Die Datengrundlage für die Tabelle ist in den Kapiteln 8.2.7

Landschaftselement	Subtyp	1 ha ernährt x Rinder	1 ha deckt Bauholzbedarf für Bau von x Häusern (alle 25 -50 Jahre	1 ha deckt Brennholzbedarf eines Hauses zu x%	1 ha deckt jährlichen Kalorienbedarf eines Hauses durch Sammeln zu x%	1 ha deckt jährlichen Kalorienbedarf eines Hauses durch Fischen zu x%	1 ha deckt jährlichen Kalorienbedarf eines Hauses durch Jagd zu x%
Primärwald	Verjüngungsp.	0,14/0,28	1-3	5/17	0,5-2	0	0,05/0,1
	Initialphase	0,14/0,28	5-10	17/58	0,5-2	0	0,05/0,1
	Optimalphase	0,08/0,16	2-4	28/58	1-4	0	0,05/0,1
	Terminalphase	0,08/0,16	1-3	28/58	1-4	0	0,05/0,1
	Zerfallsphase	0,1/0,2	1-3	17/28	0,5-2	0	0,05/0,1
Niedermoor		0,08/0,16	1-5	17/28	0,5-2	0	0,05/0,1
Seefläche		0	0	0	0	0,5-2	0
Sekundärwald	10-30 Jahre	0,25/0,5	3-8	17/58	7-12	0	0,05/0,1
	30-50 Jahre	0,17/0,34	6-12	28/58	5-10	0	0,05/0,1
Waldgarten		0,14	1	5/17	15-20	0	0,05/0,1
Hudewald		0,35	1	17/28	1-4	0	0,05/0,1
Brachflächen		0,45	1	0/10	4-8	0	0,05/0,1
Grünland		0,7	1	5/10	0,5-2	0	0,05/0,1
Feldflächen		0,05	1	5/10	0,5-2	0	0,03/0,5

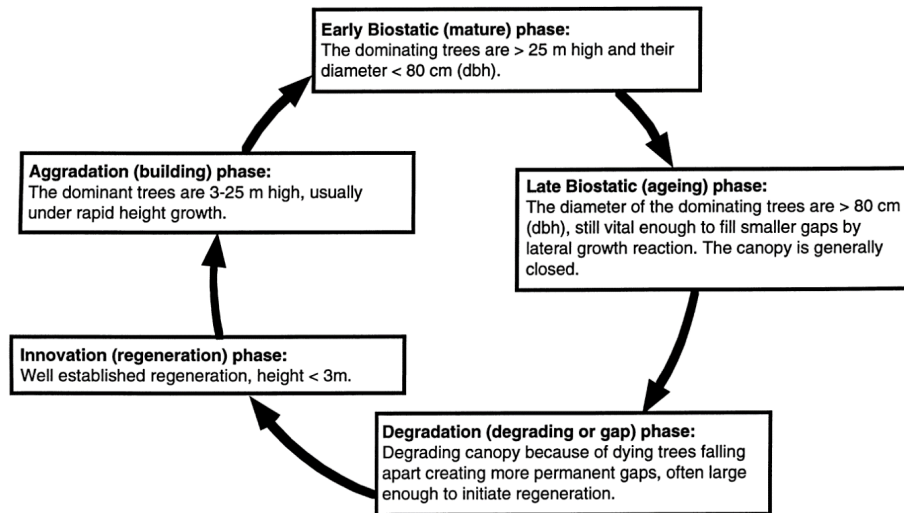


Abb. 35: Für das Modell WELASSIMO\_fläche verwendetes Schema der Entwicklungsphasen im Primärwald. Ich habe für Tab. 23 die Phasen wie folgt übersetzt: Innovation= Verjüngungsphase; Aggradation=Initialphase; Early Biostatic= Optimalphase; Late Biostatic= Terminalphase; Degradation= Zerfallsphase. Nach Emborg et al. (2000)

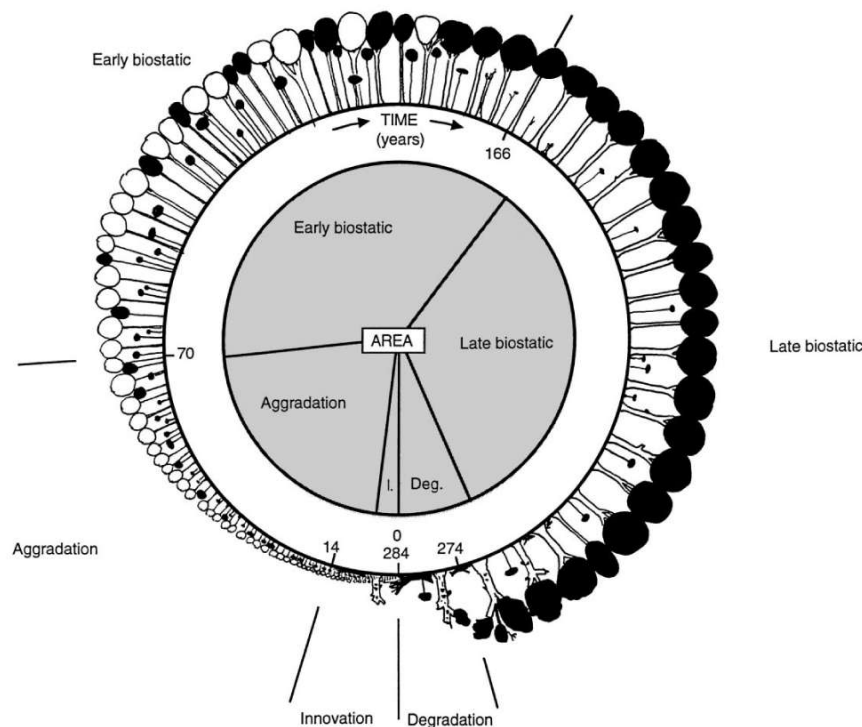


Abb. 36 Modell der Waldentwicklung eines Buchenmischwaldes nach Emborg et al. (2000). Weisse Bäume symbolisieren Eschen, schwarze Bäume Buchen. Ein kompletter Zyklus beträgt hier (im Ggs. zu den Annahmen in WELASSIMO\_feldbau) nur 284 Jahre



Das Landschaftselement Primärwald ist in die Subtypen der Waldentwicklungsphasen unterteilt; diese werden geringfügig anders definiert als in WELASSIMO\_feldbau. Dazu wurde das Modell der Waldentwicklung eines Buchen-Eichen-Eschen-Ulmenwaldes von Emborg et al. (2000) zugrunde gelegt. In Abb. 35-Abb. 37 sind relevante Details aus der genannten Untersuchung angegeben, die dieses Modell von dem in WELASSIMO\_feldbau verwendeten unterscheiden: so beträgt der gesamte Zyklus der Waldentwicklung von Verjüngungsphase bis Zerfallsphase hier nicht 500, sondern nur 284 Jahre, und die Prozentanteile der Waldentwicklungsphasen unterscheiden sich ebenfalls von den zuvor verwendeten. Die einzelnen Waldentwicklungsphasen unterscheiden sich ebenso wie die Landschaftselemente hinsichtlich ihres Ressourcenangebots. So ist z.B. der Wert für die Viehernährung in der Verjüngungs- und Initialphase höher als in den übrigen Phasen, während der Wert für die Brennholzgewinnung in der Optimal- und der Terminalphase am höchsten ist. Ein wahrscheinliches Stangenwaldstadium in der Initialphase bedingt hier den höchsten Wert für die Bauholzgewinnung.

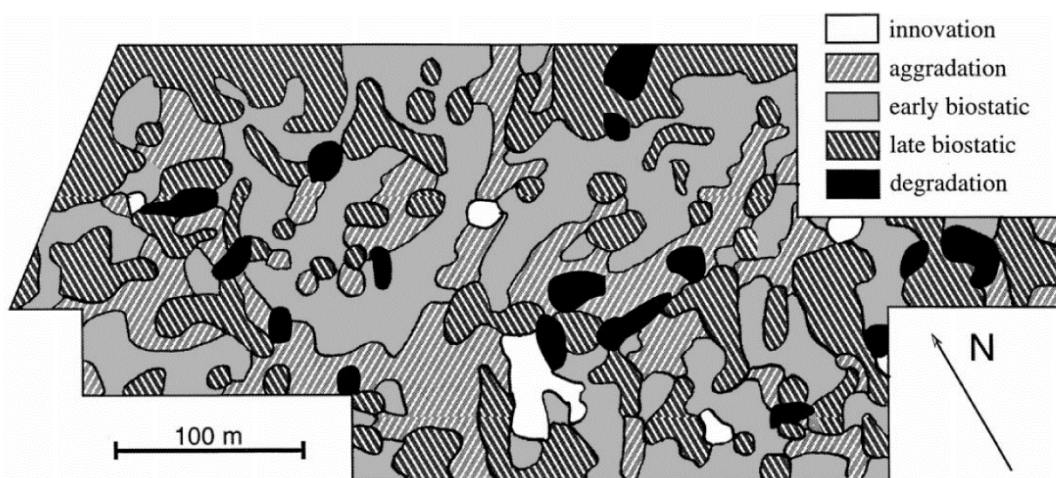


Abb. 37: Darstellung des räumlichen Mosaiks unterschiedlicher Waldentwicklungsphasen nach Emborg et al. (2000). Die Prozentanteile der jeweiligen Phasen sind in der Publikation mit 5%, 20%, 34%, 28% und 4% angegeben (in der gleichen Reihenfolge wie in der Legende aufgeführt)

Das Landschaftselement Niedermoor ist entweder von offenem Niedermoor oder von moorigem Erlbruchwald bewachsen, während Seefläche für offenes Wasser steht. Das Landschaftselement Sekundärwald steht hier stellvertretend für die beiden Waldtypen Niederwald und Mittelwald, die nach Billamboz (Billamboz und Köninger 2008) für die Umwelt der Seeufersiedlungen als Folge des menschlichen Wirtschaftens nachgewiesen sind (Billamboz spricht von „mittelwaldähnlichen“ Bewirtschaftungsformen und verweist darauf, dass die Begriffe der modernen Forstwirtschaft hier nicht buchstäblich zu verstehen seien; siehe dazu auch Kap. 5.5). Für die vorliegende Untersuchung wird zwischen einem 10-30-jährigen und einem 30-50-jährigen Sekundärwald unterschieden, die leicht unterschiedliche Ressourcenangebote aufweisen.

Das Landschaftselement Waldgarten repräsentiert die Annahme, dass ein gewisser Prozentsatz der Fläche durch die Förderung von Haselnüssen oder Apfelbäumen geprägt wurde. Auf diesen Flächen ist daher der Ertrag an Sammelpflanzen besonders hoch. Dieses Landschaftselement ist zwar nicht durch positive Nachweise sicher belegt, aber die dauerhaft hohe Stetigkeit z.B. von Äpfeln im archäobotanischen Fundgut lässt die begründete Annahme zu, dass diese Bäume – ebenso wie möglicherweise Haselnüsse, Schlehen und weitere wichtige Sammelpflanzen – bewusst gefördert wurden (siehe dazu Kap. 8.2.8).

Auch das Landschaftselement Hutewald ist nicht nachgewiesen, ich halte es aber in bestimmten Phasen für wahrscheinlich, dass sich unter den rekonstruierten sozio-ökologischen Bedingungen ein ähnlicher Waldtyp in näheren Siedlungsumfeld gebildet haben könnte. Bei mittelalterlichen und neuzeitlichen Hutewäldern handelt es sich um aufgelichtete Waldbereiche mit vorwiegend dicken und alten Bäumen, in denen durch langjähriges Eintreiben von Vieh der Unterwuchs weitgehend unterdrückt wurde. Ich nehme wegen des erhöhten Lichteinfalls eine hohe Eignung für die Waldweide an, während hier kaum geeignetes Bauholz auffindbar gewesen sein dürfte.

Die Existenz von Brach- oder Ruderalflächen dagegen ist nicht nur indirekt durch die nachgewiesene hohe Siedlungsdynamik mit vermuteter Verlegung auch der Wirtschaftsflächen belegt, sondern auch direkt durch entsprechende Pflanzengesellschaften (Jacomet et al. 1989. S. 232). Diese sind hier mit einem Alter seit der letzten Nutzung von maximal 10 Jahren definiert, danach gehen sie in den Landschaftstyp Sekundärwald über (siehe oben). Auf Brachflächen wächst vermutlich kaum geeignetes Bauholz, dafür ist die ökonomische Wertigkeit für die Viehweide recht hoch.

Unter dem Landschaftstyp Grünland werden Wiesen und Weiden sowie Feldflächen zusammengefasst. Die Wahrscheinlichkeit der Existenz größerer Anteile dieses Landschaftstyps während des Jungneolithikums ist sehr gering (Jacomet et al. 1989 S.228). Wahrscheinlich nahm aber der Anteil zunächst von feuchten Streuweisen und später von ersten wiesenähnlichen Standorten über die Jahrhunderte hinweg zu (Brombacher und Jacomet 1997 S. 272 ff.). Grünland hat insbesondere für die Viehbeweidung einen höheren Wert als alle übrigen Landschaftselemente.

Generell unterliegen die hier genannten Landschaftselemente alle dem Prozess der Sukzession, wodurch sich offenere Flächen über verschiedene Zwischenstadien in geschlossenen Wald zurückbilden. Dadurch verändert sich auch das entsprechende Ressourcenangebot auf der Zelle. Diese Prozesse sind in dem vorliegenden Modell nur eingeschränkt abgebildet: so werden die Ressourcen lediglich auf denjenigen Zellen verändert, die auch tatsächlich genutzt werden. Die Simulation einer generellen Vegetationssukzession konnte in diesem Modell nicht realisiert werden.

In den Spalten von Tab. 23 ist das Potential eines Hektars des jeweiligen Landschaftstyps zur Deckung des Bedarfs an verschiedenen Ressourcen aufgetragen. Die Nutzungen schließen sich nicht gegenseitig aus. Konkret sind die Eintragungen wie folgt: die potenzielle Anzahl Rinder, die pro Hektar ernährt werden können; die Anzahl Häuser, die mit dem Bauholz auf diesem Hektar errichtet werden kann; der Prozentsatz des jährlichen Brennholzbedarfs eines Hauses, der durch die Vegetation auf einem Hektar dieses Typs gedeckt werden kann; sowie die potenziellen Anteile an der Deckung des jährlichen Kalorienbedarfs eines Hauses, die durch das Sammeln von Wildpflanzen, durch den Fischfang bzw. durch die Jagd auf einem Hektar des Landschaftstyps möglich sind.

Die Werte für die Eintragungen sind von unterschiedlicher Verlässlichkeit, was in der Tabelle durch die Verwendung von Normalschrift für verlässlichere Angaben und Kursivschrift für weniger verlässliche Annahmen unterscheidbar ist. So ist z.B. der Flächenbedarf für die Rinderweide in verschiedenen Landschaftselementen durch moderne Untersuchungen und ethnologische Analogien gut abgesichert (siehe Kap. 8.2.7). Dagegen halte ich die Quelle für die Angabe des potenziellen Kalorienantrags auf einem ha durch Jagd auf Wildtiere für weniger verlässlich (siehe Kap. 8.2.8). Daher sind diese Werte in kursiv gedruckt.

Für mehrere Eintragungen sind, durch einen Schrägstrich getrennt, zwei Werte angegeben; der erste Wert gilt für die Simulation von nachhaltiger Nutzung der Ressource, der zweite, höhere Wert für die Simulation von nicht nachhaltiger Nutzung. Für die Eintragungen ohne Schrägstrich wird für die angegebenen Werte immer die komplette Nutzung der gesamten Ressource auf der Zelle angenommen. Dies betrifft zum einen die Eintragungen für das Sammeln von Wildpflanzen und den Fischfang. Für

diese Aktivitäten gehe ich von einer nachhaltigen Nutzung aus, weil die entnommenen Mengen das natürliche Potential für die jährliche Erneuerung der Fischbestände bzw. der Sammelpflanzen wohl nicht im Ansatz gefährden konnten (vermutlich gab es zeitlich und räumlich begrenzte Ausnahmen von dieser generellen Aussage). Zum anderen trifft es für die Bauholznutzung zu. Ich gehe hier von einer kompletten Nutzung allen verfügbaren Bauholzes auf der Zelle aus, und von einer anschließenden Pause in der Bauholzentnahme für 20 Jahre. Nach dieser Zeit könnte das ursprüngliche Bauholzangebot wieder erneuert sein, sofern keine andere, nicht-nachhaltige Nutzung auf der Zelle stattfindet. Die Angaben und Herleitungen zum Ressourcenangebot in den Landschaftselementen werden in den Kapiteln 8.2.6 ff. beschrieben.

#### 8.2.4 Das kombinierte Ressourcenangebot der Landschaftsszenarien

In Abb. 38-Abb. 42 sind stark vergrößerte Ausschnitte aus der in Abb. 33 dargestellten Landschaft bei Annahme von LD\_S1 bis LD\_S6 dargestellt. Die Farbgebung der Pixel folgt einem Gradient von schwarz über rot nach weiß und gibt damit die relative Ressourcenverfügbarkeit für die Viehweide, das Sammeln von Wildpflanzen, die Gewinnung von Bau- und Brennholz sowie die kombinierte Ressourcenverfügbarkeit der genannten drei Ressourcen an. Schwarz bedeutet ein geringes, zunehmend helles rot ein zunehmendes, und weiß ein hohes Ressourcenangebot. Diese Darstellung verdeutlicht die Annahme unterschiedlich hoher Ressourcenverfügbarkeit in verschiedenen Landschaftselementen, woraus auch für die Landschaftsszenarien S1-S6 eine jeweils individuelle Ressourcenverfügbarkeit resultiert.

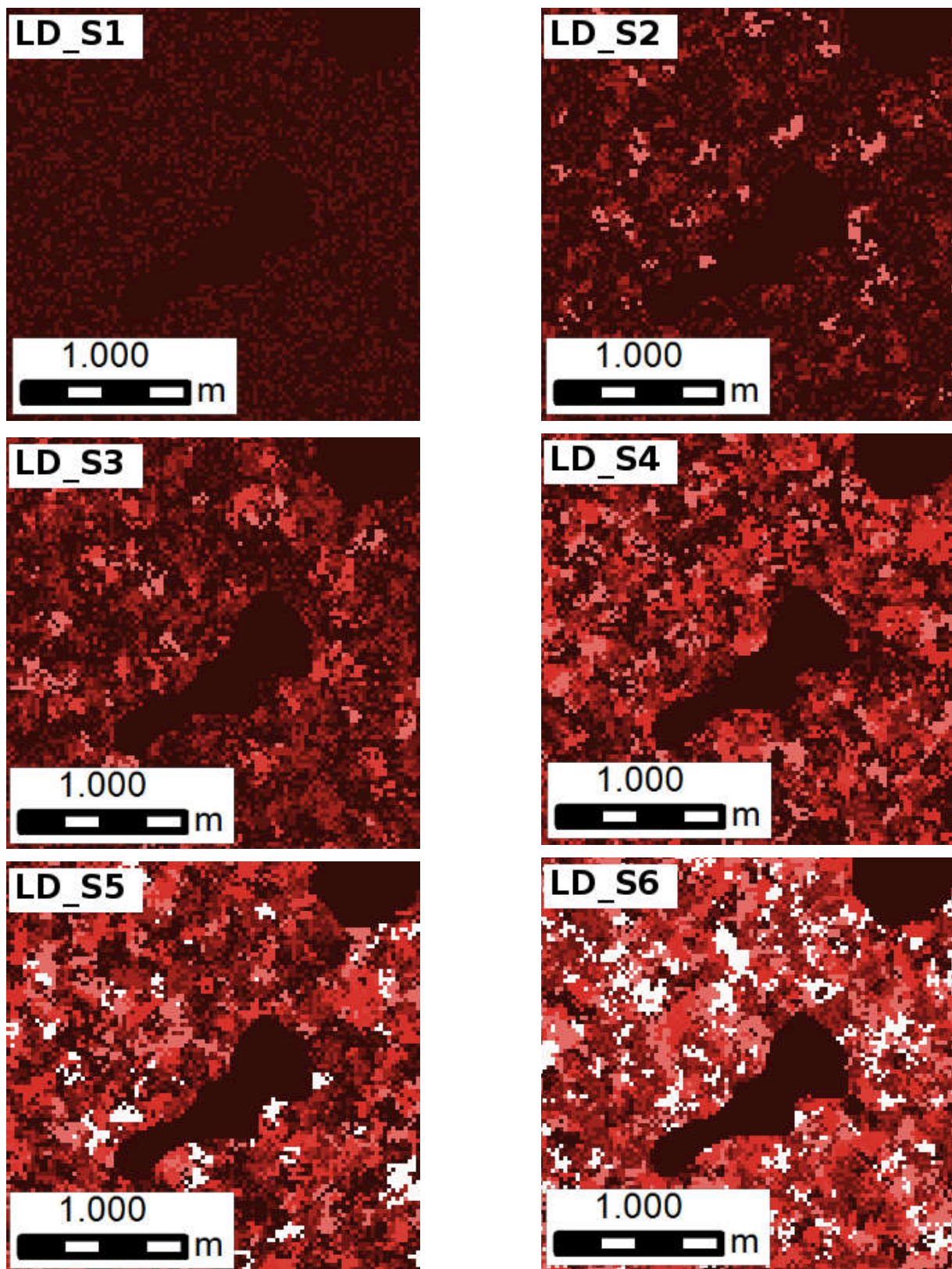


Abb. 38: Vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 33. Relative Wertigkeit der Modelllandschaft für die Viehhernährung in den Landschaftsszenarien LD\_S1 bis LD\_S6 (Tab. 23). Die Wertigkeit nimmt mit dem Anstieg der Helligkeit von schwarz (Wert 0) über rot bis weiß (Wert 1) zu. Die Auflösung erlaubt das Erkennen der einzelnen Zellen von je 25x25 m

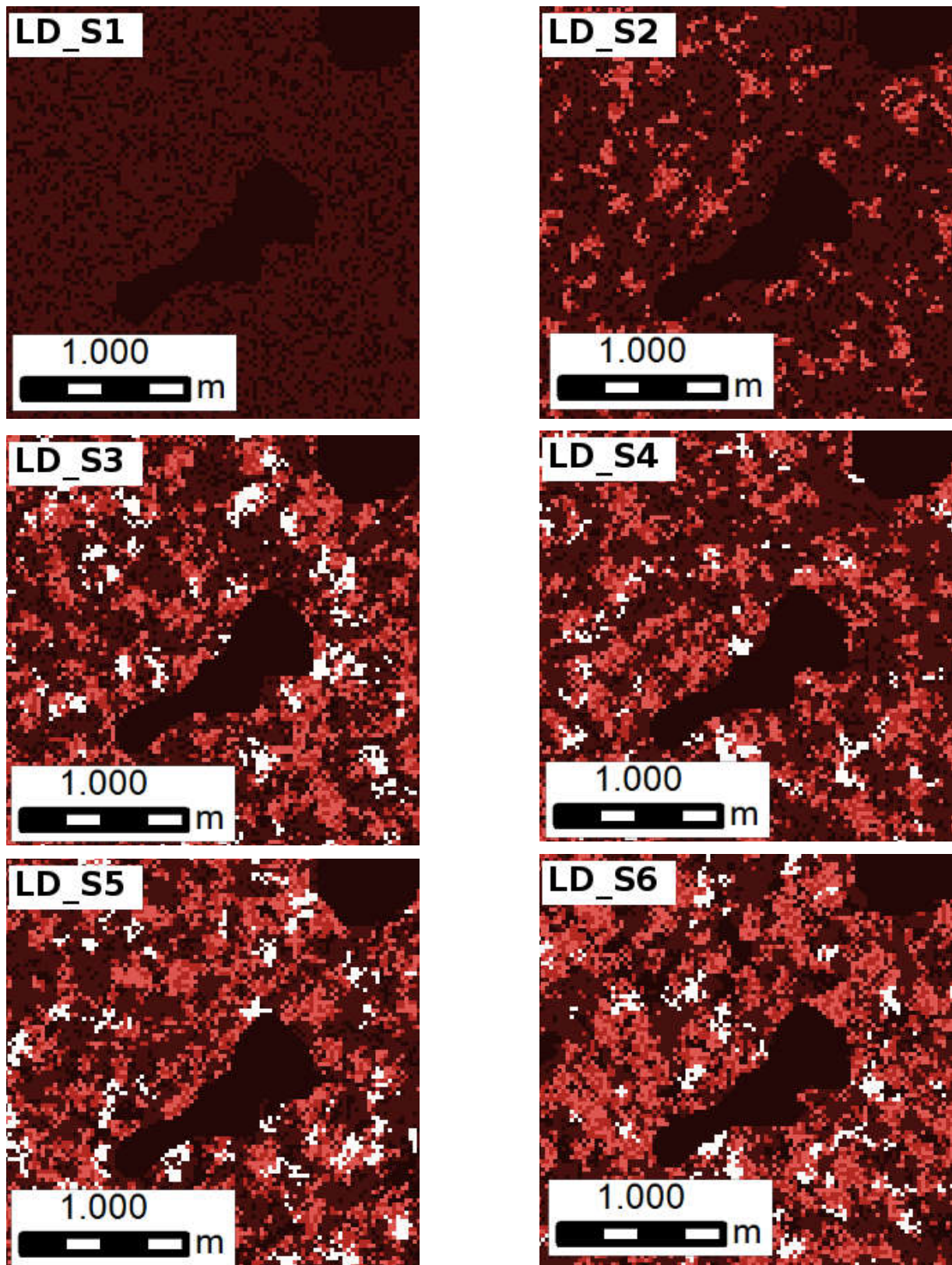


Abb. 39: Vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 33. Relative Wertigkeit der Modelllandschaft für das Sammeln von Wildpflanzen in den Landschaftsszenarien LD\_S1 bis LD\_S6 (Tab. 23). Die Wertigkeit nimmt mit dem Anstieg der Helligkeit von schwarz (Wert 0) über rot bis weiß (Wert 1) zu. Die Auflösung erlaubt das Erkennen der einzelnen Zellen von je 25x25 m

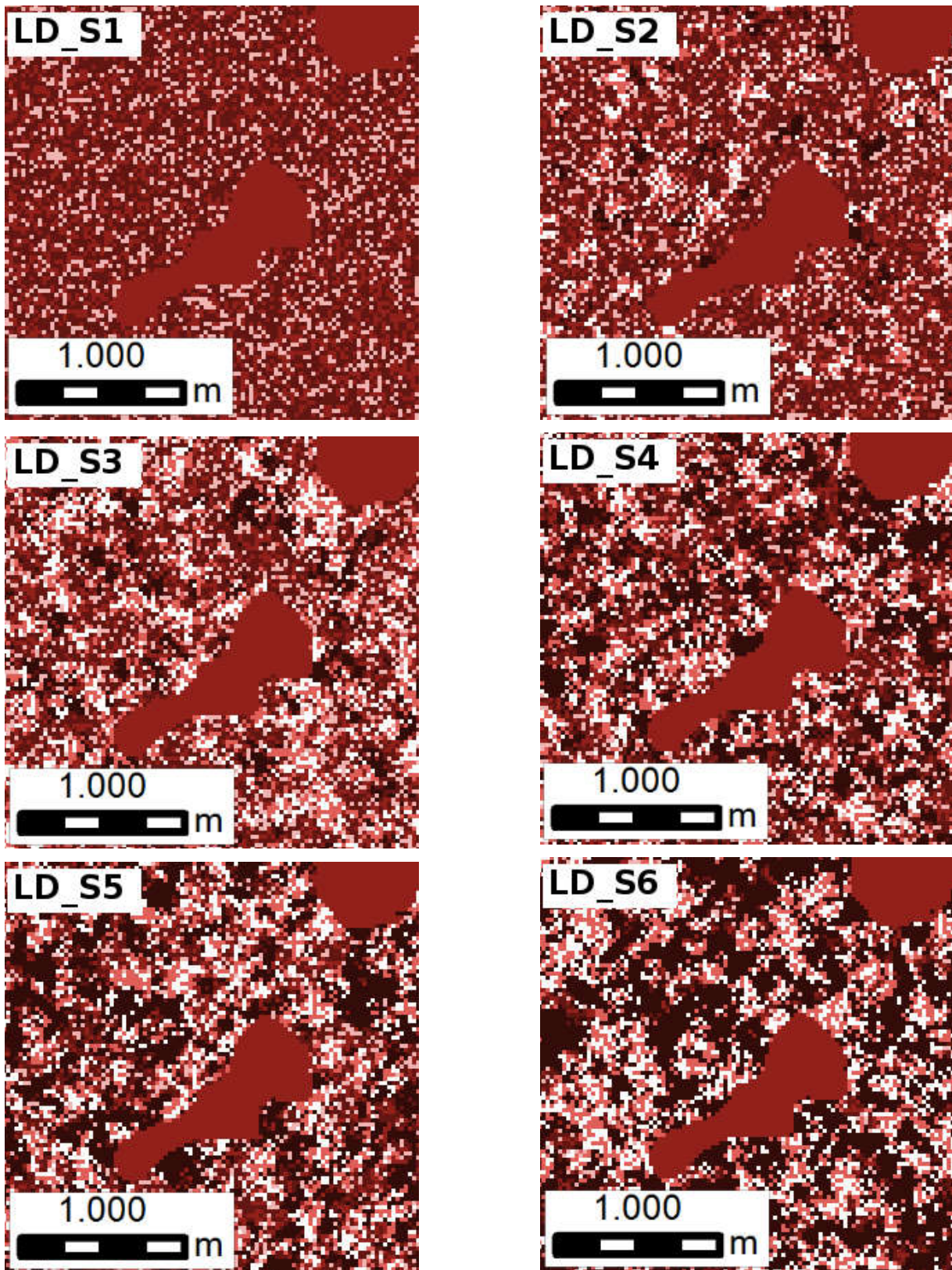


Abb. 40: Vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 33. Relative Wertigkeit der Modelllandschaft für die Gewinnung von Bauholz in den Landschaftsszenarien LD\_S1 bis LD\_S6 (Tab. 23). Die Wertigkeit nimmt mit dem Anstieg der Helligkeit von schwarz (Wert 0) über rot bis weiß (Wert 1) zu. Die Auflösung erlaubt das Erkennen der einzelnen Zellen von je 25x25 m

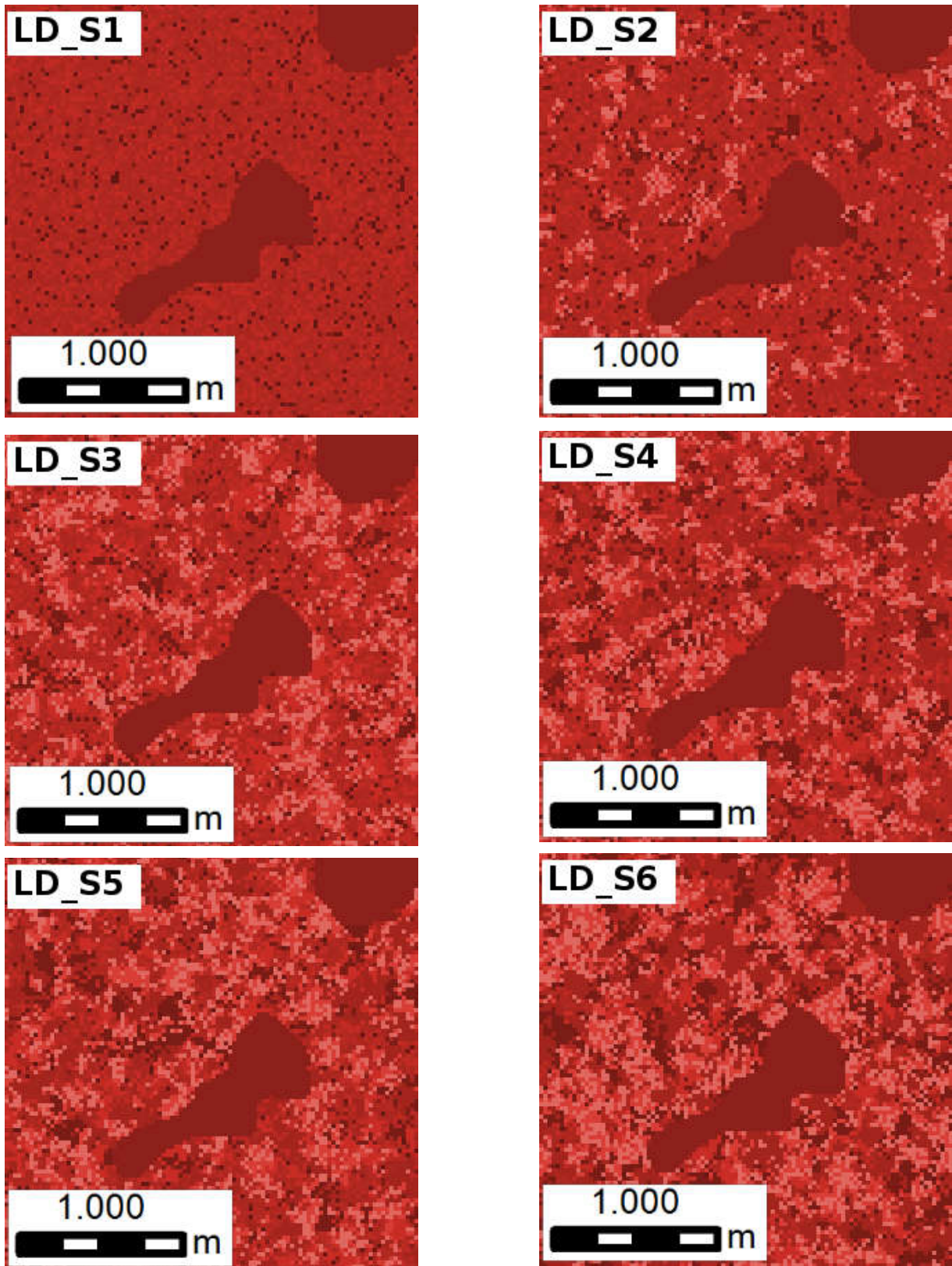


Abb. 41: Vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 33. Relative Wertigkeit der Modelllandschaft für die Gewinnung von Brennholz in den Landschaftsszenarien LD\_S1 bis LD\_S6 (Tab. 23). Die Wertigkeit nimmt mit dem Anstieg der Helligkeit von schwarz (Wert 0) über rot bis weiß (Wert 1) zu. Die Auflösung erlaubt das Erkennen der einzelnen Zellen von je 25x25 m

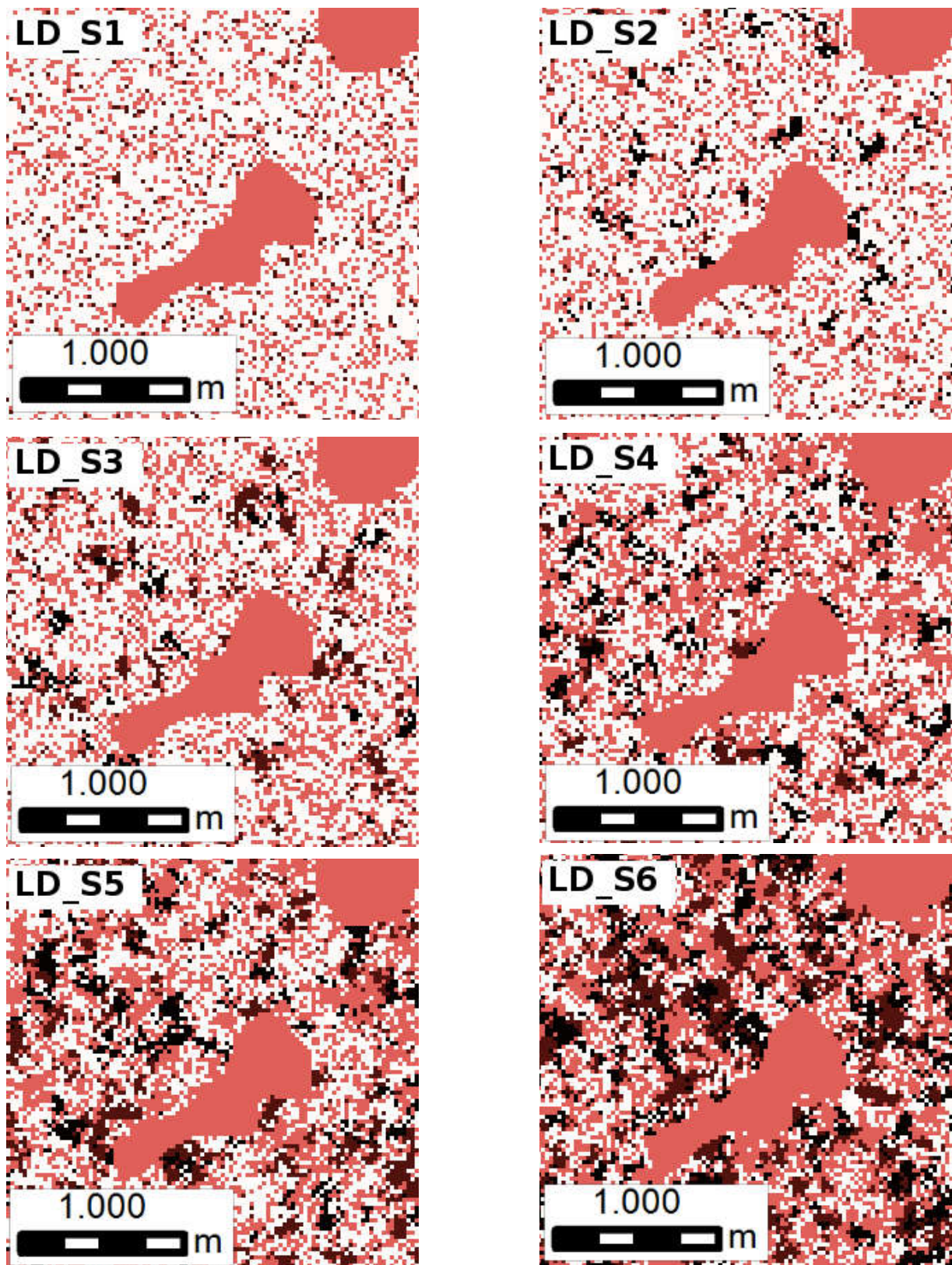


Abb. 42: Vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 33. Relative Wertigkeit der Modelllandschaft für die Gewinnung von Ressourcen in den Landschaftsszenarien LD\_S1 bis LD\_S6 (Tab. 23). Die Wertigkeit nimmt mit dem Anstieg der Helligkeit von schwarz (Wert 0) über rot bis weiß (Wert 1) zu. Die Auflösung erlaubt das Erkennen der einzelnen Zellen von je 25x25 m



### 8.2.5 Die Definition von ökonomischen Szenarien

Es wurden insgesamt 5 ökonomische Szenarien (OES\_1-OES\_5) mit je 3 Subtypen (a, b, c) definiert (siehe Tab. 24). OES\_1-OES\_5 unterscheiden sich zunächst im Anbauverfahren und der entsprechenden Düngung: So werden gartenähnlicher Anbau (GB) mit und ohne Düngung, Brandfeldbau mit Buschbrache (BB), Brandfeldbau mit Waldbrache (BW) und Pflugbau ohne Düngung (PB) angenommen. Durch die Subtypen werden für die fünf Szenarien je drei unterschiedliche Annahmen für die Feldfläche, die Anzahl Rinder pro Haus sowie den Anteil des Haustierfleischs an der Gesamternährung definiert. Die Größe der Feldflächen orientiert sich an den Ergebnissen von Kapitel 6 in Anhang 13.1, die verwendet wurden, um einen aus der Feldfläche und dem Anbauverfahren resultierenden Getreideanteil an der Ernährung zumeist zwischen 10% und 100% zu erreichen.

Die Anzahl der Rinder pro Haus in OES\_1 von 2,4-7 Tieren ergibt sich aus der Annahme der Düngung der Feldflächen von 0,3/0,6/1 ha Größe mit 10 t Mist/ha/Jahr (siehe Tab. 6). Diese Rinderdichten befinden sich oberhalb der von Ebersbach (2013) beschriebenen wahrscheinlichen Anzahl Tiere pro Haus und werden hier für den Vergleichszweck verwendet. In OES\_2, OES\_3 und OES\_4 werden je drei geringere Werte von 1, 0,5 und 0,1 Rindern pro Haus simuliert. Hier korrelieren kleinere Feldflächen mit größeren Rinderdichten, um einen unterschiedlichen Schwerpunkt in der Kalorienversorgung anzudeuten. In OES\_5 wird der Wert von 2 Rindern pro Haus verwendet.

Die gesamte Kalorienversorgung der Siedlung ergibt sich aus der Addition der Spalten „Anteil Haustierfleisch“, „Anteil Fisch“, „Anteil Jagdtierfleisch“ und „Anteil Sammelpflanzen“ mit den im laufenden Jahr erzielten Getreideerträgen. Für Haustierfleisch und Fisch werden in jedem Jahr die gleichen Werte verwendet. Dies drückt die Annahme aus, dass diese Nahrungsquellen nicht ohne weiteres über ein „normales“ Maß hinaus genutzt werden konnten. Im Fall der Haustierhaltung spricht meiner Meinung nach vieles für einen über die Jahre hinweg sich nur geringfügig ändernden Anteil an der Deckung der Jahreskalorien, u.a. weil die Demographie der Herden wohl keine starken Schwankungen in der Entnahme der Tiere zuließ. Das gleiche gilt für den Anteil von Fisch an den Jahreskalorien, wenn auch aus einem anderen Grund: ich gehe davon aus, dass die erschließbaren Ressourcen in den meisten Fällen bereits unter Normalbedingungen zur Gänze genutzt wurden und daher eine weitere Intensivierung eher unwahrscheinlich war.

Für die Anteile des Jagdtierfleisches sowie der Sammelpflanzen an den Jahreskalorien hingegen gehe ich von einem Grundbetrag von 4% bzw. 13% aus, der sich aber durch entsprechende Ausweitung der Fläche noch steigern lässt. Für den Fall geringer Getreideerträge, in deren Folge die oben gebildete Summe aus Getreide, Haustierfleisch, Fisch, 4% Wildtierfleisch und 13% Wildpflanzen nicht den für die Deckung des jährlichen Kalorienbedarfs erforderlichen Wert von 100 erreicht, wird der Anteil von Wildtierfleisch sowie von Sammelpflanzen solange erhöht bis 100% erreicht sind. Natürlich könnte eine Erhöhung des Jagdertrages auch durch eine Erhöhung der eingesetzten Arbeitsmenge anstelle einer Ausweitung der Fläche erreicht werden. Faktoren der Arbeitskapazität wurden in der vorliegenden Modellversion jedoch nicht berücksichtigt. Um sie zu integrieren, müsste eine Datenbasis zu Arbeitsmengen der jeweiligen Tätigkeiten geschaffen werden, die aber in dieser Form nicht vorliegt. Für alle Szenarien identisch sind die Annahmen des Brennholzbedarfs von 6 m<sup>3</sup> pro Jahr sowie des Bauholzbedarfs von 7 m<sup>3</sup> für eine Hausgeneration von 5 Jahren.

Tab. 24: Definition der ökonomischen Szenarien in WELASSIMO\_ fläche

Szenario	verfahrenAnbau-	Düngung	Haus (ha)Feldfläche/	Rinder/ Haus	Anteil Haustier-produkte (%)	Anteil Fisch (%)	fleisch (%)Anteil Jagdtier-	pflanzen (%)Anteil Sammel-	bedarf/ Haus (m <sup>3</sup> )Brennholz-	generation (m <sup>3</sup> )Bauholzbedarf / Haus/ Haus-
a		10 t	0,3	2	5	3	4% + x	13% + x	6	7
<b>OES_1 b</b>	GB	Mist/	0,6	4	5	3	4% + x	13% + x	6	7
c		ha/a	1	7	5	3	4% + x	13% + x	6	7
a			0,5	1,5	10	3	4% + x	13% + x	6	7
<b>OES_2 b</b>	GB	Ohne	1	1	5	3	4% + x	13% + x	6	7
c			1,5	0,5	3	3	4% + x	13% + x	6	7
a			0,2	1	5	3	4% + x	13% + x	6	7
<b>OES_3 b</b>	BB	Brand	0,4	0,5	3	3	4% + x	13% + x	6	7
c			0,6	0,1	1	3	4% + x	13% + x	6	7
a			0,2	1	5	3	4% + x	13% + x	6	7
<b>OES_4 b</b>	BW	Brand	0,4	0,5	3	3	4% + x	13% + x	6	7
c			0,6	0,1	1	3	4% + x	13% + x	6	7
a			0,5	2	10	3	4% + x	13% + x	6	7
<b>OES_5 b</b>	PB	Ohne	1	2	10	3	4% + x	13% + x	6	7
c			1,5	2	10	3	4% + x	13% + x	6	7

## 8.2.6 Die Simulation des Feldbaus

Da das Modell auf dem oben vorgestellten Modell WELASSIMO\_feldbau aufbaut, muss die Simulation des Feldbaus hier nicht mehr *en détail* diskutiert werden. Für die Annahmen zur Größe der Feldflächen in den Szenarien OES\_1 - OES\_5 habe ich mich an den Ergebnissen von Kap. 7.4 orientiert, insbesondere an den in Anhang 13.1 dargestellten Getreideerträgen bei unterschiedlichen Flächengrößen. Ansonsten laufen die Simulationen ab wie in Kap. 7.3 beschrieben. Der Hektarertrag der Häuser wird in Abhängigkeit von den ertragsbildenden Faktoren des Getreideanbaus simuliert, und daraus der resultierende jährliche Anteil an der Deckung des Jahreskalorienbedarfs berechnet. Die Auswirkungen des Feldbaus auf die Ressourcenverfügbarkeit auf der betreffenden Zelle ist bei Annahme eines permanenten Anbauverfahrens (OES\_1, OES\_2 und OES\_5) aus Tab. 23 zu entnehmen, indem der betreffende Landschaftstyp auf der Zelle dauerhaft in den Landschaftstyp Feldfläche übergeführt wird. Unter Annahme von Brandfeldbau (OES\_3 und OES\_4) dagegen geht die Feldfläche nach Jahresende zunächst in den Landschaftstyp Brachfläche und nach Ablauf von 8 Jahren in den Landschaftstyp Niederwald über. Wegen der Verwendung des Waldzyklus-Modells nach Emborg et al.

(2000), in dem die Dauer des gesamten Zyklus nur noch 284 anstelle der in Kap. 6 angenommenen 500 Jahre beträgt, werden hier nur 25% der Primärwaldfläche als für den Brandfeldbau geeignet betrachtet, während dieser Anteil unter dem oben verwendeten Modell nach Mayer und Neumann (1981) 35% der Primärwaldfläche ausmacht (siehe Abb. 35-Abb. 37).

### 8.2.7 Die Integration der Rinderhaltung

Anhand von Knochenfunden kann die Bedeutung der unterschiedlichen Haustierarten im Verlauf der Seeuferbesiedlung gut nachgezeichnet werden (z.B. Schibler 2006, 2004). Während neben Rindern auch die Haltung von Schafen, Ziegen und Schweinen nachgewiesen werden kann, wird für die hier vorgelegte Modellierung lediglich die Rinderhaltung betrachtet. Von Bedeutung ist die Rinderhaltung nicht nur wegen der Beiträge zur Kalorien- und Proteinversorgung der Menschen durch Fleisch- und Milchnutzung, sondern auch wegen ihrer engen Verflechtung mit weiteren wirtschaftlichen Aktivitäten sowie ihrem Einfluss auf die Landschaftsentwicklung (z.B. Ebersbach 2013 S. 146). So ist die Frage einer möglichen Mistdüngung der Getreidefelder direkt mit der Frage der Rinderdichte und den Haltungsbedingungen verknüpft. Auch wegen des Arbeitsbedarfs für die Rinderhaltung (der gemäß der Intensität ihrer Haltung und Nutzung stark variiert) wird die Notwendigkeit ihrer Berücksichtigung im System deutlich.

#### 8.2.7.1 Datenlage: der archäologische Befund

Bereits aus den frühesten Feuchtbodensiedlungen ist belegt, dass Rinder gehalten und verzehrt wurden. Schibler (2006) kann anhand seiner archäozoologischen Untersuchungen Phasen verschiedener Intensität und Ausprägung der Rinderhaltung voneinander unterscheiden: im Zeitraum 4300-4000 v. Chr. waren die Rinderherden vermutlich noch klein, es wurden nur wenige Tiere geschlachtet, und vermutlich war diese Phase auch durch Schwierigkeiten in der Rinderhaltung gekennzeichnet (siehe auch Hüster-Plogmann und Schibler et al. 1997, S. 66). Ein großer Anteil junger Rinder überlebte den zweiten Winter nicht, während die Überlebenden recht alt wurden – Schibler interpretiert dies als Hinweis auf Schwierigkeiten bei der Überwinterung der Tiere und vermutet den generell noch hohen Bewaldungsgrad der Landschaft als einen wesentlichen Faktor dabei.

Auch Ebersbach (2002, S. 202) erkennt in der frühen Phase der Seeufersiedlungen eine geringe Bedeutung der Rinderhaltung. In der Periode von etwa 4000-3000 v. Chr. stabilisieren sich die Anteile in den Knochenspektren am Zürichsee, und „im 38. und 37. Jahrhundert war die Rinderhaltung offenbar etabliert“ und es existierte ein „routinierter Umgang mit den Haustieren“ (Hüster-Plogmann und Schibler et al. 1997, S. 66). Andererseits vermerkt Ebersbach (2002, S.186) dass sich die von ihr errechneten Herdengrößen in den Siedlungen während der Zeit kaum verändern und – mit der Ausnahme von Arbon-Bleiche 3 (30-60 Tiere) – generell auf einem niedrigen Niveau zwischen 5 und 20 Tieren liegen. Während der Horgener Kultur ist am Zürichsee eine Phase der rückläufigen Bedeutung der Rinderhaltung zu vermerken. Die Autoren der Studie erkennen in den von ihnen analysierten Mustern Hinweise auf einen vermehrten Einsatz der Tiere für Zug- und Arbeitsleistungen.

Mit dem Einsetzen der Schnurkeramik ab 2750 v. Chr. erfolgt ein deutlicher Zuwachs der Bedeutung von Rindern auf die höchsten Werte während des Untersuchungszeitraumes. Die Übersetzung dieser Werte in absolute Angaben zu „Rinder pro Siedlung“ oder „Rinder pro Haus“ ist ein methodisch schwieriges Unterfangen, und die Ergebnisse solcher Untersuchungen sind naturgemäß mit Unsicherheit behaftet. Aufgrund eines sehr umfangreichen Datenbestandes und langjähriger Untersuchungen können aber dennoch entsprechende Aussagen getroffen werden (zur Methodik und der Datengrundlage siehe insbesondere Ebersbach 2013, 2002). So liegt der Median der errechneten durch-

schnittlichen Rinderdichten in den Seeufersiedlungen während des Neolithikums bei 0,44-0,88 Tieren pro Jahr und Haus, mit Minima bei 0,1 Tieren und Maxima bei 4 Tieren pro Jahr und Haus. Diese Werte sind etwas geringer als in heutigen Systemen beobachtet, wo der Median bei 4,4 Tieren liegt, Minima und Maxima bei 0,9 bzw. 10 Tieren liegen.

Ebersbach (2013) führt als mögliche Erklärungen hierfür einerseits die nur unvollständige Erhaltung des archäologischen Befundes an; in diesem Fall könnten die neolithischen Werte den in heutigen Kontexten beobachteten Bedingungen entsprochen haben. Andererseits könnten die Rinderdichten tatsächlich geringer gewesen sein, wofür ein verringertes Nahrungsangebot durch den hohen Bewalungsgrad ursächlich gewesen sein könnte. Wie oben vermerkt, korrelieren die anhand des Fundmaterials errechneten Herdengrößen nicht mit der Größe der Dörfer und liegen recht einheitlich zwischen 5-20 Tieren (Ebersbach 2002 S. 186). Andererseits existiert die Möglichkeit, dass wegen einer Reihe an Gründen die Herdengrößen doch deutlich über den durch die Analyse der Knochenzahlen interpretierten Werten lagen. So gibt Ebersbach (2013) Rinderherden mit einem Median von 0,44-0,88 Tieren „pro Haus“ an, wodurch sich bei großen Siedlungen von etwa 100 Häusern (z.B. Sipplingen-Osthafen Schicht 9, Billamboz et al. 2010) Herden von bis zu 90 Tieren errechnen lassen. Für die Definition der ökonomischen Szenarien OES\_1 bis OES\_5 wurde ebenfalls eine Anzahl Tiere pro Haus berechnet, und auf die (womöglich eher den Verhältnissen entsprechende) Simulation einer Herdengröße unabhängig von der Siedlungsgröße verzichtet.

Der Nutzen der Rinderhaltung für die Bewohner der Pfahlbausiedlung war vermutlich ein mehrfacher. So nennt und beschreibt Ebersbach (2002 146 ff. und 203) die Nutzung von Milch und Milchprodukten, die Fleischnutzung, die Nutzung der Arbeitskraft der Rinder sowie die Gewinnung von Rinderdung als mögliche Nutzungsarten. Dabei dürfte die Fleisch- und in sehr viel geringerem Ausmaß auch die Frischmilchnutzung vermutlich die ursprünglichste Nutzungsweise darstellen, während die Nutzung der Arbeitskraft erst ab dem 34. Jahrhundert plausibel gemacht werden kann. Die Weiterverarbeitung von täglich gemolkener Milch in den Seeufersiedlungen erscheint nach Ebersbach ausgeschlossen, weil sie nur in sogenannten „Maximalsystemen“ realisiert ist – unter intensivem Einsatz von Arbeit und in feldbaulich marginalen Gebieten. Die Dungproduktion als Nutzungsziel erscheint der Autorin ebenfalls ausgeschlossen, wofür sie das Fehlen von trittresistenten Pflanzen in den makrobotanischen Untersuchungen anführt (Ebersbach 2002, S. 203, Fußnote 588). Dazu muss allerdings vermerkt werden, dass neuere Untersuchungen die Düngung von einem Teil der Kulturpflanzen in den Siedlungen Hornstaad-Hörnle 1A und Sipplingen-Osthafen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit nachweisen konnten (Bogaard et al. 2013; Styring et al. 2016). Ich nehme einen kombinierten Gewinn aus Fleisch- und Milchnutzung in Höhe von 1-10% des jährlichen Kalorienbedarfs an (Tab. 24).

Der Arbeitsbedarf für die Rinderhaltung ist schwierig zu kalkulieren und dürfte auch je nach Intensität der Nutzung stark geschwankt haben. So gibt Ebersbach (2002 S. 157) im Fall einer aufwändigen Weiterverarbeitung von Milch eine Kapazitätsgrenze bei 4-5 Tieren pro Kopf an. Wird hingegen bei einem geringen Melkviehanteil nur Frischmilch genutzt, können 10-15 Tiere von einer Person betreut werden. In Regionen, in denen Winterfutter besorgt werden muss, wirkt sich dessen Beschaffung ebenfalls deutlich auf die Arbeitsmenge für die Rinderhaltung aus. Kerig (2007) zitiert Rasmussen (1989, S.75) mit einem Arbeitsbedarf von 3 Tagen Schneiteln und 2 Tagen Einbringen des Winterfutters = 5 Tage pro Rind.

#### 8.2.7.2 Datenlage: Flächenbedarf für die Fütterung

Für die Ermittlung des Flächenbedarfs für die Rinderhaltung ist es von großer Bedeutung, in welcher Umgebung die Tiere weiden. Während heutige Kühe in modernen Hochleistungssystemen auf einer

Fläche von nur 0,7 ha Weideland während eines Jahres ausreichend versorgt sind, waren hierfür im 18. Jahrhundert noch die doppelte Fläche an Weideland erforderlich (Ebersbach 2002, S. 156). Noch wesentlich höher liegt der Flächendarf im Fall teilweiser oder vollständiger Waldbedeckung. So werden nach Ebersbach (2002, S. 53) und Adams (1975) zwischen 4-14 ha pro Kuh bei Laubwald und 8-20 ha pro Kuh bei Nadelwald für die Ernährung des Viehs benötigt. Auf diesen Angaben habe ich die in Tab. 25 dargestellten Werte definiert; die Annahme einer höheren Wertigkeit von Sekundärwaldflächen für die Waldweide beruht auf der dort leichter zugänglichen (weil jüngeren) Vegetation einerseits und auf einer durch größeren Lichteinfall erhöhten Primärproduktivität auf diesen Flächen andererseits.

Im Winter musste zusätzlich Winterfutter für das Vieh beschafft werden. Anhand einer Modellberechnung von Deschler-Erb und Marti-Grädel (2004, S. 245) kann erkannt werden, dass bei Annahme von 6 Monaten Winterfütterung der Tiere ein hoher Bedarf an Laubheu benötigt wird. Dieser könnte unter hohem Arbeitseinsatz auf einer Fläche von 0,3-0,6 ha pro Rind eingebracht werden. Dadurch würde sich der gesamte Flächenbedarf für die Rinderweide bezogen auf ein Jahr beinahe halbieren. Klare Belege für Laubheufütterung kann z.B. Bleicher (2009, S. 128) für die Siedlung Alleshausen-Grundwiesen vorlegen (2865-2844 v.Chr.). Allerdings kann die Periode von 6 Monaten Bedarf an Laubheufütterung kaum als allgemeingültig für die Untersuchungseinheit betrachtet werden; wie in Kap. 3.3 diskutiert wurde, waren die Jahresmitteltemperaturen zu Beginn des Untersuchungszeitraumes höher, und möglicher Weise war insbesondere der Winter wärmer.

In Kombination mit der Lage vieler Siedlungen an den großen Alpenrandseen, die als Temperaturpuffer wirken und dadurch eine deutlich verlängerte Vegetationsperiode bedingen, halte ich eine deutlich kürzere Phase der Laubheufütterung für wahrscheinlicher. Da diese jedoch nicht in der Berechnung integriert wurde, stellen die Angaben zum Flächenbedarf eher obere Grenzwerte dar, die je nach Intensität der Schneitelwirtschaft geringer angesetzt werden müssten.

Tab. 25: Annahmen für den Flächenbedarf für die Rinderweide bei verschiedenen Vegetationstypen. Die Werte sind nach Angaben in Ebersbach (2007, S. 53) und Adams (1975) definiert worden; kursive Werte stellen eigene Annahmen dar. Die dritte Spalte gibt die Anzahl an Rindern an, die auf einem ha ernährt werden können

Landschaftstyp	Benötigte Fläche pro Rind (ha)	Zelle (1/16 ha) deckt Futterbedarf von x Rindern
Primärwald Optimal- und Terminalphase (Hallenwald)	12	0,08
Primärwald, Zerfalls- und Verjüngungsphase	7	0,14
Hudewald	3	0,35
Niedermoor/Erlenbruchwald	12	0,08
<i>Sekundärwald, Alter 30-50 Jahre</i>	6	0,17
<i>Sekundärwald, Alter 10-30 Jahre</i>	4	0,25
<i>Brachflächen, Alter 1-10 Jahre</i>	2	0,5
(Wiese/Weide um 1800)	1,4	0,71
(Wiese/Weide modern)	0,7	1,4

Aus forstökonomischer Sicht wird die Waldweide als kritisch betrachtet, da die Tiere die Bäume stark schädigen und den Waldboden zertrampeln (Adams 1975 und darin zitierte Literatur). Dabei spielen sowohl Kühe als auch Schafe und Ziegen eine Rolle, erstere besonders wegen des Trampelns, letztere stärker wegen der intensiven Schädigung von Jungwuchs. In Experimenten konnte eine Schädigung von einem Viertel der Jungbäume nachgewiesen werden – bei einer Dichte von nur einem Tier pro 20

ha. Damit sind die Auswirkungen der Rinderhaltung auf die Vegetationsbedeckung und besonders auf das Aufkommen junger Vegetation eindeutig als negativ zu beschreiben, es liegt also eine Degradationswirkung der Rinderhaltung auf die Waldressourcen vor. Die detaillierte Simulation der Degradationswirkung der Rinderweide konnte in diesem Projekt leider nicht verwirklicht werden; solch ein Projekt würde jedoch ein großes Potential für ein vertieftes Verständnis des sozio-ökologischen Systems beinhalten und würde ein eigenes Forschungsprojekt nahelegen.

### 8.2.7.3 Simulation

Die Simulation des Flächenbedarfs für eine Rinderherde erfolgt im Modell über einen Agenten „cattle“, der einen Futterbedarf gleich der über die Eingabemaske „Rinderherde“ gewählten Anzahl Rinder in der Siedlung hat (HINWEIS: Textelemente in Courier – Schriftsatz beziehen sich auf Elemente des NETLOGO-Codes, Anhang 13.3). Dies integriert die in Tab. 23 in der Spalte „1 ha ernährt x Rinder“ quantifizierte Weise der Flächenbedarfsermittlung pro Rind; im Modell wird dieser Wert in den Zellen des jeweiligen Landschaftstyps gespeichert (geteilt durch 16 wegen der Zellgröße von 25x25m = 1/16 ha). Der Agent bewegt sich von Zelle zu Zelle, setzt deren Zustandsvariable „p\_browsed?“ auf „wahr“ und vermindert gleichzeitig seinen Bedarf um den in der Zellvariable p\_rinder gespeicherten Wert.

Dafür wird jeweils die der Siedlung nächstliegende Zelle mit „pbrowsed?“ = „falsch“ ohne Wasserbedeckung aufgesucht. Bezüglich der Wahl der jeweils nächsten zu beweidenden Zelle wurde hier explizit die an sich unrealistischere euklidische Distanz anstelle der realistischeren Gehzeitberechnung zu den Zellen zu verwenden. Dies ist damit begründet, dass das Modell vor allem dazu dient, Flächen zu ermitteln – dies wird durch die somit entstehenden Kreisflächen anstelle von Polygonen wesentlich erleichtert. In Untersuchungen, die eine reale Siedungslandschaft als Grundlage haben, sollte jedoch immer die Gehzeitberechnung verwendet werden.

Verschiedene Landschaftselemente haben unterschiedliche Wertigkeiten für die Rinderweide, je nachdem, ob die Eingabemöglichkeit „Nachhaltig?“ auf „ja“ oder auf „nein“ gesetzt wurde. Dies ist eine stark vereinfachende Methode, um die schädigenden Auswirkungen der Rinderbeweidung auf die Vegetationsentwicklung zu integrieren. Dabei muss betont werden, dass es sich bei den Angaben dazu, welche Beweidung noch nachhaltig ist, um eine rein spekulative Annahme ohne entsprechende Datenanalyse handelt. Für die Quantifizierung der Degradation von Ressourcen auf den Zellen mit Rinderbeweidung wurde folgendes Verfahren gewählt: unter Annahme von nachhaltiger Beweidung vermindert sich die Wertigkeit für die Bauholzgewinnung jährlich um 1%, bei nicht-nachhaltiger Beweidung um jährlich 5%. Die Brennholzverfügbarkeit wird jährlich um 1% vermindert (siehe auch Tab. 26). Die Wertigkeit für die Rinderweide selbst wird im Verlauf der Simulationsdauer nicht verändert, wenn auch langfristig mit einem positiven Effekt der Rinderweide auf die Wertigkeit einer Fläche für die Rinderweide zu rechnen ist. Die relativen Auswirkungen dieser Werte auf die Ressource nach 20 Jahren sind in Tab. 27 dargestellt.

Tab. 26: Degradationswirkung von Landnutzungsverfahren und deren Quantifizierung unter nachhaltiger/ nicht nachhaltiger Entnahme. Es handelt sich bei den Werten um reine Annahmen, die nicht durch Daten belegt sind

Landnutzung	Degradierende Wirkung auf
<i>Rinderweide</i>	<i>Bauholz (1% / 5%), Brennholz (1%)</i>
<i>Brennholz sammeln</i>	<i>Brennholz (1% / 5%)</i>
<i>Bauholzgewinnung</i>	<i>Bauholz (1% / 5%)</i>
<i>Jagd</i>	<i>Jagdwild (3%)</i>

Tab. 27: Effekt der Annahme einer jährlichen Abnahme von 1%, 3% und 5%. Nach 20 Jahren sind noch 80%, 56% bzw. 38% der ursprünglichen Wertigkeit vorhanden

jährliche Abnahme	1	2	3	4	5	6
1%	100	99	98	97	96	95
3%	100	97	94	91	89	86
5%	100	95	90	86	81	77

### 8.2.8 Die Integration von Jagen, Sammeln und Fischfang

Die Aktivitäten Jagen, Sammeln und Fischfang sind ein festes Element der Ernährungsweise in den Feuchtbodensiedlungen (z.B. Baumeister und Königer 2016; Ebersbach 2003; Gross et al 1990; Jacomet 2009, 2006; Maier 2004; Schibler 2006). Dabei ist mehrfach belegt, wie die Intensivierung der entsprechenden Aktivitäten als Antwort auf vermutliche oder tatsächlich belegte Engpässe erfolgt ist: In Hornstaad-Hörnle 1A wurden vermehrt Haselnüsse als Reaktion auf den Dorfbrand im Jahr 3910 v. Chr. gesammelt (Maier 2001 S. 127; siehe auch Brombacher und Jacomet 1997, 227 ff.), und erhöhte Wildtieranteile bei gleichbleibenden Nutzieranteilen in den Knochenspektren gehen oft mit Phasen erhöhter klimatischer Schwankungen einher (Schibler 2006). Daher vermute ich, dass insbesondere der Jagd und dem Sammeln von Wildpflanzen eine doppelte Rolle zukam: sie stellten zusammengekommen sicherlich eine Säule der Ernährung dar, die einen festen Platz neben der Kalorienversorgung durch Getreidebau und Haustiernutzung hatte, und gleichzeitig konnten sie als Strategien zur Erhöhung der Resilienz in Krisenzeiten gelten (Jacomet und Schibler 2010b; Doppler et al. 2013). Dabei ist der Nachweis eines genauen Anteils der Kalorien aus Jagd, Fischfang und Sammeln von Wildpflanzen nicht nur methodisch mit Problemen behaftet (Gross et al. 1990; Jacomet und Schibler 2010a), sondern auch viel weniger relevant als die potenzielle Pufferwirkung, welche die Aktivitäten in der Summe einnehmen können.

#### 8.2.8.1 Datenlage

Aus Untersuchungen an Knochen von Wildtieren ist bekannt, dass insbesondere der Rothirsch im Jagdspektrum der Bewohner der Feuchtbodensiedlungen eine feste Größe darstellte. Insbesondere in der Zürichseeregion haben Rothirschknochen einen Anteil von 80-90% aller Wildtierknochen (Schibler und Hüster-Plogmann 1997 S. 83). In einer Untersuchung von Rothirschdichten in europäischen Nationalparks von Günther und Heurich (2013) stellen die Autoren rezente Dichtewerte von 1-8 Tieren je 100 ha fest; jedoch kann insbesondere wegen der Schwierigkeiten durch heute fehlende Analoga zu den neolithischen Bedingungen kaum eine Bewertung für Jagdwild als ökonomische Res-

source getroffen werden. Zudem kommt, dass Rothirsche ein sehr ausgeprägtes periodisches Wanderverhalten entlang bestimmter Routen über dutzende von Kilometern besitzen (z.B. Drechsler 1991; Ruhlé und Looser 1991), wodurch möglicherweise die Jagdbeute eines größeren Gebietes entsprechend „kanalisiert“ worden sein könnte. Jedoch wurden keineswegs nur Rothirsche verzehrt, wie beispielsweise durch die Untersuchungen von Stephan (2015) und Deschler-Erb und Marti-Grädel (2004 S. 236 ff.) belegt ist: letztere konnten anhand von Schnittspuren an Knochen von Reh, Wildschwein, Ur, Bär, Dachs, Marder, Iltis und Biber belegen, dass diese ebenfalls in den Kochtöpfen bzw. an den Fleischspießen landeten. Sie errechnen einen täglichen Fleischverzehr (Wild- und Haustiere gemeinsam) von durchschnittlich 76 g Fleisch (=108 kcal) pro Tag. Diese Menge hat nur eine geringe Bedeutung (5%) für die Deckung des täglichen Kalorienbedarfs von angenommenen Kalorienbedarf von 2000 kcal, deckt jedoch die erforderliche Menge an Protein zur Gänze ab.

An die Frage der erzielbaren Jagderträge pro ha lässt sich eine Annäherung durch Verwendung der Daten von Turcek (1971) in Tab. 28 erreichen. Er gibt für verschiedene Waldökosysteme Mitteleuropas Mittelwerte des Körpergewichts der auf einem Hektar vorkommenden Wirbeltiere an. Danach kann man hier mit Werten zwischen 8,4 und 11,4 kg/ha rechnen. Daher wird hier der Wert von 10 kg/ha als Grundlage für die Errechnung eines Werts für den möglichen Beitrag eines Hektars zur jährlichen Kalorienversorgung verwendet. Geht man von einer verwertbaren Fleischmenge bei Säugetieren von 85% aus (Literaturangaben in Jacomet und Schibler 1985) aus und überträgt die von Ebersbach (2002, S. 152) zitierten Angaben über die pro Jahr maximal nutzbaren Anteile einer Rinderherde von 20% der Tiere auf das wichtigste Jagdwild in den Seeufersiedlungen (den Rothirsch), so gelangt man zu einem Ertrag von 1,7 kg Wildfleisch pro Hektar bei Annahme von nachhaltiger Entnahme. Bei einer spekulativen Erhöhung dieses Wertes um das 2-3 fache unter der Annahme einer nicht-nachhaltigen Entnahme (wie sie z.B. von Schibler et al. 1997, S. 97 für die Siedlungen am nördlichen Zürichsee im 37. Jahrhundert v. Chr. belegt ist), so kann mit einem Wert von 4 kg Fleischertrag pro ha und Jahr gerechnet werden. Dies führt bei einem Kaloriengehalt von 1100 kcal pro kg Hirschfleisch zu einer Deckung des jährlich erforderlichen Kalorienbedarfs eines Modellhauses von 0,04% bzw. 0,09% bei nachhaltiger bzw. nicht nachhaltiger Entnahme. Ein km<sup>2</sup> würde demnach ausreichen, um 4-9% des Jahreskalorienbedarfs eines Modellhauses zu decken. Interessanterweise führt ein anderer Berechnungsansatz zu dem exakt gleichen Ergebnis: ich bin von einem sehr hohen Rothirschbestand von 10 Tieren pro km<sup>2</sup> (siehe Günther und Heurich 2013) ausgegangen und von ausschließlicher Nutzung des Rothirsches als Jagdtier. Wenn man dann eine jährliche Entnahme von 20% der Tiere vermutet, kommt man wiederum zu der Aussage, dass ein km<sup>2</sup> zwischen 5 und 10% des Kalorienbedarfs eines Hauses zu decken vermag.



Tab. 28: Gesamtmenge von Wirbeltieren in kg/ha in verschiedenen europäischen Waldökosystemen  
Nach Turcek (1971)

Ecosystem	Body-mass (kg/ha)			
	Amphibians and Reptilians	Birds	Mam- mals	Total
Poplar-willow Elm-ash (oak)	4.4	2.2	5	11.8
Oak-hornbeam Oak-lime Oak-beech	1.2	1.2	7.5	9.9
Mixed Beech-fir-maple Other deciduous-coniferous	0.3	1.3	10.0	11.4
Scots pine Spruce Pine-spruce Spruce-fir-larch	0.8	0.45	7.2	8.4
<i>M</i> (kg)	1.7	1.3	7.4	10.4

Durch regelmäßige Funde von Netzsenkern und seltener auch Netzen und Angelhaken in den Feuchtbodensiedlungen ist eine stetige Bedeutung und ein technisch ausgereiftes Niveau des Fischfangs bereits während des Neolithikums dokumentiert (z.B. Baumeister und Köninger 2016; Mainberger 2015 S. 70). Die Bedeutung von Fischen kann z.B. anhand der Untersuchung der Kleintierreste in der Siedlung Arbon-Bleiche 3 von Hüster-Plogmann (2004) abgeschätzt werden. Sie kann einen Anteil von Fischresten an den Kleintierfunden von 80% belegen, wobei Karpfenartige und Felchen dominierten. Auch wurden Fischflossen in anhaftenden Speiseresten an Kochtöpfen gefunden.

Darüber hinaus kann sie auch eine Bedeutung von Fröschen und Vögeln nachweisen; der kombinierte Nutzungszeitraum aller identifizierten verzehrten Kleintiere deckt einen erstaunlich hohen Anteil des Jahres ab, woraus Hüster-Plogmann ein umsichtige und systematische Strategie der Nutzung aquatischer Nahrungsquellen ableitet (Hüster-Plogmann 2004 S. 276). Diese Aktivitäten fanden im unmittelbaren Siedlungsumfeld, aber auch im Freiwasser des Bodensees statt (wie durch den Freiwasserfisch Felchen belegt ist).

Die Quantifizierung eines möglichen Hektarertrages an Fisch wurde entsprechend den in Tab. 29 dargestellten mittleren Fischerträgen von Seen verschiedener Ertragsklassen in Mecklenburg-Vorpommern erstellt. Dort werden Werte von 20-80 kg Fisch/ha/Jahr angegeben. Da die Fisch-Biomasse in Seen maßgeblich über deren Trophiezustand gesteuert wird, nehme ich für kleine und mittlere Seen im Untersuchungsgebiet (z.B. Degersee, Federsee) mesotrophe Bedingungen an und leite daraus durchschnittliche Werte von 40 kg/ha/Jahr ab, während die oligotrophen großen Seen im Alpenvorland eher geringere Werte von 20 kg/ha/Jahr vermuten lassen. Hinweise auf den Trophiezustand der Seen im Neolithikum können aus Analysen der Seesedimente gewonnen werden; daraus kann z.B. für den Bodensee gezeigt werden, dass vor dem Beginn der Siedlungstätigkeit in Arbon-Bleiche 3 oligotrophe Bedingungen vorlagen, während gegen Ende der Besiedlung lokale Eutrophierungstendenzen erkennbar sind (Brombacher und Hadorn 2004 S. 61).

Dagegen liegen nach Wick (2015, S. 338) für den Degersee Belege für mesotrophe Bedingungen vor, die mit Einsetzen der Siedlungstätigkeit deutlich in Richtung eutroph verschoben wurden. Möglicher-

weise würde dies für zeitlich und räumlich eng begrenzte Bedingungen auch die Annahme einer oberen Ertragsklassen von 80 kg/ha/Jahr (Tab. 29) rechtfertigen. Die genannten Angaben lassen sich unter Verwendung eines Kaloriengehaltes von Fisch von 1000kcal/kg in eine potenzielle Deckung des jährlichen Kalorienbedarfs eines Modellhauses durch Fischfang von 0,1-2% pro Hektar übersetzen.

In einem mesotrophen See wären für einen Fischanteil an der gesamten Kalorienversorgung von 3% damit überschlagsweise 3 ha Seefläche pro Haus erforderlich. Der kleine See, an dessen nördlichen Ufer sich die Siedlung in der Modellandschaft befindet, hat eine Fläche von 25 ha und könnte eine Siedlung von 10 Häusern mit einem jährlichen Prozentsatz von je 2,5% versorgen. Für die Definition der ökonomischen Szenarien nehme ich für den Anteil von Fisch an der Deckung der erforderlichen Kalorien eines Hauses der Wert von 3% an.

Tab. 29: Mögliche Fischerträge in kg/ha/Jahr für verschiedene Ertragsklassen. Nach Schäperclaus (1936), modifiziert

Ertrags- klasse	Wertigkeit	möglicher Fischertrag gesamt (kg/ha/Jahr)	möglicher Ertrag Raub- fische (Hecht, Zander, Barsch kg/ha/Jahr)	Deckung des jährli- chen Kalorienbedarfs für Modellhaus (%/ha)
1	sehr hoch	> 80	> 27	> 2
2	hoch	40 - 80	13 -27	2
3	mittel	20 - 40	7-13	1
4	gering	10-20	3-7	0,5
5	sehr gering	< 10	0	0,2

Die Bedeutung von Wildpflanzen für die Ernährung ist bereits mehrfach umfassend vorgelegt worden (Antolin et al. 2016a ; Brombacher und Jacomet 1997; Hosch und Jacomet 2004; Jacomet 2009; Jacomet et al. 1989; Maier 2001). Die Nutzung eines breiten Spektrums von Wildpflanzen konnte in den genannten Publikationen belegt werden, die sich in die Kategorien Wildobst, öl- und fettreiche sowie stärke- und eiweißreiche Wildpflanzensamen, Wildgemüse und Heilpflanzen unterteilen lassen. Während jede dieser Kategorien mit mehreren Taxa vertreten ist, sind für unsere Untersuchung besonders solche Pflanzen von Bedeutung, welche regelhaft eine tragende Rolle an der Deckung der Ernährung sowie für den kurzfristigen Ausgleich von Nahrungsmittelengpässen innegehabt haben könnten (siehe auch Jacomet et al. 1989 S. 225).

Wie z.B. jüngst durch Antolin et al. (2016a) beschrieben, machen Reste von Wildäpfeln oder -birnen sowie Haselnüssen, Schlehen und Eicheln einen sehr großen Anteil an den gesamten Wildpflanzenresten aus; ihnen allen ist gemein, dass sie bei entsprechender Vorratshaltung gut eingelagert werden können. Schlehenbüsche stellen sich in einer halboffenen Landschaft in Mitteleuropa schnell und nachhaltig ein und kommen ohne Hege aus. Ihre Früchte können bis in den Winter hinein gesammelt und getrocknet für längere Zeit aufbewahrt werden.

Haselnusssträucher sind ein Vegetationselement, welches während der nacheiszeitlichen Erwärmung die Wälder nicht nur im nordwestlichen Alpenvorland flächendeckend dominiert hat (Firbas 1949 S. 150; Rösch und Lechterbeck 2016) und seitdem ein fester Bestandteil der Waldlandschaft war. Bereits während des Mesolithikums wurde die Ausbreitung vermutlich vom Menschen gefördert (Bos und Urz 2003). Während die Anteile im Verlauf der Ausbreitung des Eichenmischwaldes und besonders auch später des Buchenmischwaldes zurückgingen, wurden sie gerade in der Region der nordwestalpinen Feuchtbodensiedlungen anthropogen gefördert und bedeckten in bestimmten Phasen große Teile der Landschaft (Rösch und Lechterbeck 2016). Wegen ihres hohen Gehalts an Fett und des hohen Potentials für sich schnell etablierende Bestände mit hohem Anteil an Hasel ist die Nuss

vermutlich eine sehr wertvolle Ressource für die neolithischen Siedler gewesen, welche möglicherweise in seiner Bedeutung bislang noch nicht entsprechend gewürdigt wurde.

Eine Quantifizierung des kalorischen Flächenertrags aus Haselbeständen wurde von Holst (2010) für die mesolithische Fundstelle Duvensee vorgelegt. Sie berechnet sehr konservativ für eine Annahme von 135 Haselnusssträuchern, die auf vier Dickungen von je 0,4 ha Größe verteilt sind, bei einem Ertrag von je nur 1,3 kg pro Busch einen Gesamtertrag von 170-183 kg Nussfleisch oder rund 1.100.000 kcal, was einem Viertel des angenommenen erforderlichen jährlichen Kalorienertes eines Hauses entspricht. Bei einer Erntezeit von 14 Tagen und einer erntenden Person pro Haushalt könnten 571.200 kcal von Haselnüssen gewonnen werden, was einem Anteil von 13% entspräche. Wenn man annimmt dass auf einem Hektar jeweils eine Haselnussdickung von 0,4 ha Ausdehnung gewachsen ist, wäre für diesen errechneten Anteil von 13% Deckung der Jahreskalorien eine Fläche von 1,5-2 ha erforderlich.

Eicheln haben ebenfalls einen hohen Kaloriengehalt von 510 kcal pro 100 g und wurden nach Antolin (2016a) auch gesammelt; sie könnten also ebenfalls eine gewisse Bedeutung in der Grundversorgung an Kalorien dargestellt haben, jedoch etablieren sich ertragreiche Eichenbäume viel langsamer in der Landschaft als Haselnusssträucher und stellen zudem ein begehrtes Bauholz dar; auch ist ihr Wohlgeschmack nicht mit dem von Haselnüssen zu vergleichen, was in der Summe wohl für eine weniger hohe regelhafte Bedeutung von Eicheln als von Haselnüssen sprechen dürfte. Wildapfel- bzw. Wildbirnen sind ebenfalls häufig und mit hoher Stetigkeit belegt (z.B. Maier 2001, S. 115; Jacomet et al 1989 S. 199).

Sie wurden vermutlich halbiert und für die Konservierung gedarrt, was durch den Nachweis eines Darrofens in der Schussenrieder Siedlung von Hochdorf überliefert ist (Küster 1985, zitiert in Jacomet et al. 1989). Der Holzapfel war früher eine verbreitete Art in verschiedenen Laubwäldern. Es kann vermutet werden, dass eine Hege der Bäume eine reichere Ernte zur Folge hatte, was angesichts der recht hohen Bedeutung und Stetigkeit der Funde eine ebensolche Tätigkeit nahelegt – was wiederum auf ein strategisches und auf Langfristigkeit zielendes ökonomisches Handeln schließen lässt. Siehe dazu auch die Annahme von Waldgärten in Kap. 8.2.2. Eine Quantifizierung des möglichen Ertrags an Äpfeln pro Hektar wäre jedoch wäre hoch spekulativ und unterbleibt daher an dieser Stelle (ebenso wie bereits oben für Schlehe und Eichel).

#### 8.2.8.2 Simulation

Die Ermittlung des Flächenbedarfs für die drei Methoden zur Nahrungsversorgung – Fischen, Jagen und Sammeln – wird auf gleiche Art umgesetzt wie oben für die Viehweide vorgestellt: es wird ein Agent erstellt, in diesem Fall nicht die Rinder sondern die Hauseinheiten selbst, der zu Jahresbeginn einen definierten Ressourcenbedarf hat. Wie unter 8.2.5 beschrieben, kann sich dieser Bedarf an Kalorien aus Jagdtierfleisch und aus Sammelpflanzen im Laufe des Jahres noch erhöhen, falls die Summe aus den Nahrungsbestandteilen noch keine 100% bildet. Der Bedarf wird gedeckt, indem der Agent so lange neue Zellen aufsucht und deren jeweilige Wertigkeit für die Ressource von seinem Bedarf subtrahiert, bis dieser Wert 0 erreicht. Dann kehrt der Agent/die Hauseinheit in die Siedlung zurück.

### 8.2.9 Die Integration der Bauholznutzung

Die Bauholzgewinnung und -nutzung in den Feuchtbodensiedlungen ist Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Dank der guten Erhaltungsbedingungen in den an Sauerstoff verarmten Schichten sind die Holzanatomie sowie die Jahresringe in vielen Fällen noch ausreichend gut untersuchbar, so dass Untersuchungen des Bauholzes der Siedlungen zum Standardrepertoire moderner Feuchtbodengrabungen gehören (Bleicher et al. 2013). Dadurch konnten sowohl detaillierte Untersuchungen einzelner Siedlungen (z.B. Billamboz 2006; Million und Billamboz 2014) als auch größerer Siedlungslandschaften (z.B. Bleicher 2009, Suter und Francuz 2010, Bolliger 2013) vorgelegt werden, als auch synthetische Modelle der Waldnutzung entwickelt werden (Billamboz 2014, Billamboz und Königer 2008).

Aus den Arbeiten geht deutlich hervor, dass die neolithische Wirtschaftsweise sehr eng mit der natürlichen Vegetationsdynamik verflochten war und sich die beiden Sphären gegenseitig stark beeinflussten. Die hier vorgenommene Integration der Bauholznutzung in die Simulation des Flächenbedarfs der jung- bis endneolithischen Feuchtbodensiedlungen stellt daher auch nur den ersten Beginn einer sehr vielversprechenden zukünftigen Unternehmung dar: der möglichst detailgetreuen, hochaufgelösten Simulation des gekoppelten Systems aus menschlichem wirtschaften und natürlichem Waldwachstum mit Einzelbaumbetrachtung.

#### 8.2.9.1 Datenlage: Bauholzbedarf für die Häuser und Siedlungen

Holz war der zentrale Baustoff in den Feuchtbodensiedlungen. So wurden sowohl sämtliche Konstruktionselemente der Häuser daraus gefertigt, als auch in den meisten Fällen die Beplankung von Fußböden und die Wandverschalungen (Luley 1992). Zudem wurde Bauholz für Stege und Zuwegungen (Heumüller und Million 2013) und in vielen Fällen auch für Palisaden (z.B. Hafner 2010) und eventuelle weitere, in der Regel nicht erhaltene Konstruktionen wie Pferche und Zäune benötigt. Häufig wurde Holz eher geringer Dimensionen von unter 20 cm verwendet, aber auch die Verwendung aufgespaltener Hölzer größerer Durchmesser ist belegt (Bleicher 2015 S. 129 ff.; Bleicher 2009 S.70 und S. 93; Bleicher und Burger 2015 S. 143; Suter und Francuz 2010).

Bezüglich der Auswahl der Holzarten fand offenbar häufig eine Selektion von Eschen und Eichen statt, wobei das Spektrum aller verwendeten Holzarten jedoch sehr breit ist (Billamboz 2006). Eine diachrone Untersuchung der Entwicklung der Haustypen im Feuchtbodenkontext wurde für die Federseeregion von Schlichtherle (2006) erstellt. Detaillierte Kalkulationen des Holzbedarfs für verschiedene Haustypen wurden von Luley (1992) vorgelegt. Pétrequin (1991) und Pillonel (2007) konnten auf Grundlage ihrer Rekonstruktionen im Maßstab von 1:1 ebenfalls verlässliche Angaben zum Bauholzbedarf machen, und auch anhand eines durch den Autor erstellten Modells der Siedlung Torwiesen-II im Maßstab 1:33 konnten Hochrechnungen des Bauholzbedarfes für ein Haus angestellt werden.

Die genannten Literaturangaben sind die Grundlage für die Erstellung von Tab. 30, in welcher die erforderliche Menge an Bauhölzern der entsprechenden Dimensionen, das jeweilige Volumen in Festmetern sowie ein Schätzwert über die Anzahl erforderlicher Bäume für die Gewinnung der Bauhölzer angegeben sind. Letzterer beruht auf der einfachen Annahme nutzbarer Stammlängen von 4, 8, 9, 11, 17 bzw. 20 m für Bäume mit Durchmessern von 5, 8, 10, 15, 20 bzw. 40 cm. Hier ist zu beachten, dass die benötigte Anzahl an Bäumen bei den einzelnen Haustypen sehr viel unterschiedlicher ist als das gesamte erforderliche Volumen; dies spiegelt die sehr unterschiedlichen Dimensionen der verwendeten Bäume. So sind von den 1768 Bäumen, die für den Nachbau des bronzezeitlichen Hauses von Hauterive-Champreveyres (Pillonel 2007) erforderlich waren, 1391

junge Bäumchen von nur 3-5 cm Durchmesser, und die dicksten Bäume zum Bau des Hauses maßen 20 cm im Durchmesser.

Für den Bau eines Hauses vom Typ Aichbühl (Luley 1992) hingegen wurden immerhin 144 Lfm Bauholz mit Dimensionen von 30-40 cm verwendet, welches alleine ein Volumen von 14 m<sup>3</sup> hat – dafür werden aber lediglich 9 dicke und hohe Bäume berechnet, und die gesamte benötigte Anzahl für das Haus beträgt nur 54 Bäume. Die Angabe der erforderlichen Volumina dagegen ergibt ein recht konsistentes Bild: die mit einer Grundfläche von 29 m<sup>2</sup> bzw. 32 m<sup>2</sup> recht kleinen Häuser von Hornstaad und Lac de Chalain haben einen ähnlichen Holzbedarf von 6,4 bzw. 5,2 m<sup>3</sup>. Für den Bau des mit 48 m<sup>3</sup> deutlich größeren Hauses von Torwiesen II ist nach dem Modell nur ein geringfügig höheres Gesamtvolumen von 7,1 m<sup>3</sup> erforderlich; dieser Wert ist sehr wahrscheinlich zu niedrig angesetzt, weil in dem Modell vorwiegend die sichtbaren Konstruktionselemente verbaut wurden.

Die beiden Häuser von Hauterive-Champveyres und Aichbühl sind mit einer Grundfläche von 57 m<sup>2</sup> bzw. 72 m<sup>2</sup> nochmals deutlich größer, was sich auch in den entsprechenden erforderlichen Volumina von 20 m<sup>3</sup> bzw. 25 m<sup>3</sup> konsistent widerspiegelt. Um den wahrscheinlichen Bauholzbedarf der Siedlungen während der Dauer ihrer Nutzung aus diesen Angaben zu ermitteln, müssen die durchschnittliche Lebensdauer der Konstruktionen und die notwendigen Reparaturen sowie der Bedarf für weitere Konstruktionen berücksichtigt werden. Die durchschnittliche Nutzungsdauer von Häusern in den Feuchtbodensiedlungen beträgt nach Ebersbach (2010a, S.55) typischerweise nur 5-15 Jahre, wobei die Mehrheit der Fälle bei deutlich unter 10 Jahren liegt.

Die Zeit bis zum Einsetzen der ersten Reparaturen in den Häusern beträgt nur 1-5 Jahre; trotz dieser Angaben lässt sich über mögliche Holz mengen für Reparaturen lediglich spekulieren. Möglicherweise wurde wegen der ohnehin kurzen Lebensdauer der Häuser auf aufwändige Reparaturen der Konstruktion (mit Ausnahme der Pfähle) eher verzichtet. Würde eine Siedlung von allen Bewohnern zur gleichen Zeit gegründet, und wäre sie über mehrere Jahrzehnte hinweg genutzt, so würde vermutlich eine gewisse Rhythmik im Bauholzbedarf auftreten, weil sich der Bedarf für einen Neubau mehrerer Konstruktionen nach einer bestimmten Zeitdauer stark erhöhen würde. Dies ist auch der Fall in der vorliegenden Simulation.

Jedoch ist durch verschiedene Beispiele ein eher gegensätzliches Muster der Siedlungsdynamik zu beobachten: Ebersbach (2010b) beschreibt am Beispiel der Siedlung Arbon-Bleiche 3, dass „die Siedlung nicht nur kontinuierlich aus einem oder zwei Gebäuden wuchs, sondern auch schon mehrere Jahre vor dem endgültigen Siedlungsende schrumpfte“. Diese Aussage kann nach Ebersbach (2010a, S.99) verallgemeinert werden: „...es ist ein ständiges Kommen und Gehen.

Das heißt, die Spanne der Schlagdaten einer ganzen Siedlung bedeutet nicht ein geschlossenes Handeln der ganzen Siedlungsgemeinschaft...“ Auch liegt der Median aller gut dokumentierten neolithischen und bronzezeitlichen Belegungsdauern der Siedlungen bei nur 9 Jahren, bei einem Ausschluss der bronzezeitlichen Werte sogar nochmals geringer. Daher kann spekuliert werden, dass die Siedlungen in vielen Fällen für nicht mehr als höchstens 2-3 Hausgenerationen von je 5-10 Jahren genutzt und danach aufgegeben wurden. Damit kann der Bauholzbedarf B einer Siedlung während der gesamten Belegungsdauer wie folgt abgeschätzt werden:  $B = ((\text{Bauholzbedarf für ein Haus}) \times (\text{Anzahl Häuser}) \times (\text{Hausgenerationen})) + \text{übriger Bauholzbedarf}$ . Für den Zweck dieser Arbeit wird eine Hausgeneration als 5 Jahre definiert.

Tab. 30: Modelle des Bauholzbedarfs für den Hausbau anhand von fünf verschiedenen neolithischen Haustypen. Die Werte für „Anzahl Bäume“ beruhen auf Schätzungen der durchschnittlichen nutzbaren Länge von Stämmen der jeweiligen Dimensionen. Die großen Unterschiede in der Gesamtzahl erforderlicher Bäume spiegeln die sehr unterschiedlichen Dimensionen der genutzten Bäume. Der fett umrahmte Wert bildet die Grundlage für alle weiteren Berechnungen zum Bauholzbedarf pro Haus

Modell Aichbühl - Haus, Grundfläche: 11,15*6,50=72 m <sup>2</sup> , ca. 4100-4200 v. Chr., nach Luley (1992)							
	Ø 3-5 cm	Ø 6-10 cm	Ø 11-15 cm	Ø 16-20 cm	Ø 21-25 cm	Ø 30- 41 cm	Gesamt
Gesamtlänge in m	0	0	397	131	0	144	
Volumen m <sup>3</sup>	0	0	7,0	4,1	0	14	25,0
Anzahl Bäume	0	0	37	8	0	9	54
Modell Hornstaad - Haus, Grundfläche: 8,50*3,40=29 m <sup>2</sup> , ca. 3900 v. Chr., nach Luley (1992)							
	Ø 3-5 cm	Ø 6-10 cm	Ø 11-15 cm	Ø 16-20 cm	Ø 21-25 cm	Ø 30- 41 cm	Gesamt
Gesamtlänge in m	0	335	88,8	84	0	0	
Volumen m <sup>3</sup>	0	2,2	1,6	2,6	0	0	6,4
Anzahl Bäume	0	38	9	5	0	0	52
Modell Torwiesen 2 - Haus, Grundfläche: 12*4=48 m <sup>2</sup> , ca. 3030 v. Chr., nach eigenem Rekonstruktionsmodell							
	Ø 3-5 cm	Ø 6-10 cm	Ø 11-15 cm	Ø 16-20 cm	Ø 21-25 cm	Ø 30- 41 cm	Gesamt
Gesamtlänge in m	0	875	483	0	0	0	
Volumen m <sup>3</sup>	0	5,8	1,4	0	0	0	<b>7,1</b>
Anzahl Bäume	0	98	44	0	0	0	142
Modell Lac de Chalain-Haus, Grundfläche: 8*4=32 m <sup>2</sup> , ca. 3000 v. Chr., nach Petrequin (1991)							
	Ø 3-5 cm	Ø 6-10 cm	Ø 11-15 cm	Ø 16- 20 cm	Ø 21-25 cm	Ø 30- 41 cm	Gesamt
Gesamtlänge in m	1377	257	126	24	0	0	
Volumen m <sup>3</sup>	1,73	1,3	1,67	0,5	0	0	5,2
Anzahl Bäume	306	33	24	2	0	0	352
Modell Hauterive-Champveyres-Haus, Grundfläche: 9,50*6=57 m <sup>2</sup> , ca. 1000 v. Chr., nach Pillonel (2007)							
	Ø 3-5 cm	Ø 6-10 cm	Ø 11-15 cm	Ø 16- 20 cm	Ø 21-25 cm	Ø 30- 41 cm	Gesamt
Gesamtlänge in m	k.a.	k.a.	k.a.	k.a.	k.a.	k.a.	
Volumen m <sup>3</sup>	k.a.	k.a.	k.a.	k.a.	k.a.	k.a.	19,9
Anzahl Bäume	1391	186	130	16	21	24	1768

#### 8.2.9.2 Datenlage: Bauholzangebot in den Waldbeständen

Während die Quantifizierung des Bauholzbedarfs auf Grundlage von zeichnerischen oder realitätsgetreuen Rekonstruktionen der jeweiligen Häuser ein recht präzises Vorgehen ermöglicht und die Daten in Tab. 30 daher als gute Näherungen betrachtet werden können, ist die Angabe des Bauholzangebots in den Waldbeständen und damit die Ermittlung des Flächenbedarfs zur Deckung des Bauholzbedarfs vielfach komplexer. Ich gehe davon aus, dass bei ausreichendem Angebot von Stämmen zwischen 5 und 20 cm diese gegenüber dickeren Bäumen bevorzugt wurden. Dies ist eine bewusst sehr allgemeine Aussage und stellt die von Billamboz und Königer (2008) dargelegte differenzierte Auswahl der Bauholzversorgung und den großen Einfluss der Nutzungsdauer und -intensität einer Landschaft auf die Verfügbarkeit schwach dimensionierter Bäume nicht in Frage. Aber wie hoch kann die Stammzahl entsprechender Dimensionen auf einem Hektar sein? In Kap.3.4, Kap. 7.3.2.3 sowie 7.1.2.1 wurde bereits kurz auf die natürliche Walddynamik eingegangen.

Angaben zu Stammzahlen in verschiedenen natürlichen, urwaldähnlichen Waldtypen sind u.a. bei Bobiec (2002) und Bernadzki et al. (1998) für die naturnahen Wälder im Reservat Bialowieza (Polen) angegeben; Korpel (1995 S.127-137) beschreibt die Verhältnisse für ähnliche Wälder in den Westkarpaten. Bleicher 2009 (S. 93) zitiert und diskutiert entsprechende Untersuchungen in Albanien, und auch Leibundgut (1993 S. 50 ff.) hat Urwälder auf dem Balkan untersucht. Aus der letztgenannten Arbeit können für den Buchenurwald Kukavica (Serbien) die Stammzahlen über alle Dimensionen mit 514-769 Stämmen pro ha angegeben werden, wobei die Dimensionen von 1-36 cm mit 400-660 Stämmen vertreten sind (siehe Anhang 13.2).

Die Holzvorräte liegen in diesem Wald bei 400-700 (1000) Festmetern (Fm) pro ha. Für den Tannen-Buchenurwald Peručica in Bosnien liegen werden die Stammzahlen pro ha für verschiedene Entwicklungsphasen angegeben. Hier wurden deutliche Unterschiede beobachtet, die Werte liegen zwischen 248 Stämmen in der späten Optimalphase und 796 Stämmen in der frühen Optimalphase (siehe Anhang Kap. 13.2). Für die schwächeren Stärkeklassen werden mittlere Stammzahlen von 148 Stämmen mit 10-20 cm und 98 Stämmen mit 21-40 cm beschrieben. Der gesamte Bestand hat einen Vorrat von 1353 Fm/ha und einen jährlichen Zuwachs von 8,6 Fm/a. Bernadzki et al. (1998) können anhand eines Surveys die Entwicklung der Stammzahlen auf verschiedenen Waldtypen im Urwald Białowieza zwischen 1936 und 1992 mit Mittelwerten von 665-830 beschreiben. Nilsson et al. (2002) vergleichen 19 urwaldähnliche temperierte und boreale Wälder (siehe Anhang Kap. 13.2). Die 15 Wälder mit hohem Laubholzanteil aus temperierten Klimaten haben eine mittlere gesamte Stammzahl von 363. Die Stärkeklassen bis 10, 20 und 30 cm sind darin im Mittel mit je 144, 70 und 55 Stämmen vertreten. Siehe dazu auch die im Anhang 13.2 dargestellten Daten.

Nach dendroökologischen Studien (v.a. Billamboz, 2014; Billamboz und Königer 2008; Bleicher 2009) und pollenanalytischen Untersuchungen (z.B. Kerig und Lechterbeck 2004; Rösch und Lechterbeck 2016; Lechterbeck 2001) war die Vegetationsentwicklung im Umland der Feuchtbodensiedlungen anthropogen stark beeinflusst und wies häufig die Merkmale von Stockwäldern/Niederwäldern auf. Dieser Vegetationstyp ist in Mitteleuropa heute kaum mehr zu beobachten, gehört aber nach Rossmann (1996, S. 15 ff.) „zu den ältesten Formen der Aneignung von Naturgütern durch den Menschen“ und war beispielsweise im Schwarzwald, den Vogesen und verschiedenen Regionen in Rheinland-Pfalz bis in die 1930er Jahre weit verbreitet (z.B. Helfrich und Konold 2010; Hochhardt 1996).

Er ist charakterisiert durch häufiges auf-den-Stock-setzen der Gehölze und typischerweise durch Umrtriebszeiten von 15-35 Jahren, wobei sich verschiedene Taxa unterschiedlich gut für den Stocktrieb eignen. Heute bestimmen in den Wäldern häufig Eichen und Hainbuchen die Bestände, letztere waren allerdings während des Jungneolithikums noch nicht eingewandert (Burga und Perret 1998 S. 180). Auch Hasel, Winter-Linde und die Zitterpappel können von einiger Bedeutung sein. In häufig überfluteten Auenbereichen können Erlen und Weiden dominieren (Rossmann 1996 S. 19. ff). Die Stammzahlen in geringen Stärkeklassen können im Niederwaldbetrieb beträchtlich sein: so nennt Goettling (1968) für einen 10-jährigen Grauerlen-Niederwald am Inn einen Wert von 7200 Stämmen pro ha, für einen 17-jährigen Bestand gibt er 1480 Stämme an.

In einem 32-jährigen Birkenwald im Freisinger Moos wurden 2200 Stämme pro ha gezählt (Kolonko 1987). In ihrer Analyse linksrheinischer Niederwälder von 12 unterschiedlichen pflanzensoziologischen Einheiten in Rheinland-Pfalz beschreiben Helfrich und Konold (2010) Stammzahlen von 330-1940 pro ha mit einem Mittel von 1006; der niedrige Wert von 330 entstammt einem sehr unproduktiven Standort (Blockschutthalde) und wird daher als untypisch betrachtet. Nach Eckhart (1975 S. 110) beträgt der Holzvorrat in Niederwäldern 74-105 VFm/ha (VFm=Volumenfestmetern) mit einem jährlichen Zuwachs von etwa 4 VFm/ha.

Neben Niederwäldern findet Billamboz (Billamboz und Köninger 2008) auch Indizien für mittelwald-ähnliche Wuchsstandorte der neolithischen Bauhölzer. Dieser Vegetationstyp stellt eine Zwischenform von Hoch- und Niederwald dar. Die durch Stockhieb genutzte Strauchschicht (Unterholz) wird ergänzt durch mehrere Baumschichten, welche das Oberholz bilden (Rossmann 1996 S. 20 und 101 ff.). Kriso (1958, S.16) gibt hier typische Stammzahlen 536-888 Stämmen/ha an. Es werden jährliche Produktionsleistungen des Ober- wie des Unterholzes von je 1,5-2,5 Fm/ha beschrieben. Das Verhältnis von produziertem Brennholz zu Nutzholz wird mit 2:1 angegeben, die Menge nutzbaren (geraden) Stammholzes liegt bei etwa 0,8 Fm/ha. Der gesamte Holzvorrat von typischen Mittelwäldern wird mit 150-250 VFm/ha angegeben, in Auengebieten kann er 350 bis 450 VFm/ha betragen

### 8.2.9.3 Ermittlung des Flächenbedarfs für die Bauholzgewinnung

Vergleicht man die oben genannten Werte für die drei Waldtypen miteinander, so wird deutlich, dass der Holzvorrat in urwaldähnlichen Wäldern mit 400-700 (1300) VFm deutlich höher als in Mittelwäldern und Niederwäldern ist, wo er nur 150-250 (450) VFm bzw. 74-105 VFm beträgt. Auch die jährlichen Zuwachsraten sind in den naturnahen Wäldern mit einem Mittelwert von 8 VFm/ha/a höher als in den anthropogen beeinflussten, wo der Wert mit 3-5 VFm angegeben wird. Dagegen sind die Verhältnisse bei der Betrachtung der Stammzahlen pro ha umgekehrt: Hier sind die Werte in urwaldähnlichen Bedingungen mit 363-769 deutlich geringer als in Niederwäldern, wo Stammzahlen von 1480-2200 (7200) beobachtet wurden. Diese Werte sind in Tab. 31 zusammengefasst.

Tab. 31: Typische Werte für Wachstumsleistung, Holzvorrat, Annahmen zum Anteil der nutzbaren Bauhölzer sowie Berechnung des Bauholzangebots in drei verschiedenen Waldtypen. Kursive Werte stellen Annahmen dar. Zur Datenherkunft siehe Text

Waldtyp	Stammzahlen/ha	Holzvorrat (VFm/ha)	Vorratszuwachs (Fm/ha/a)	<i>Nutzbares Bauholz (%)</i>	Bauholzangebot für x Häuser
Urwaldähnlich	363-769	400-700 (1300)	8,6	<i>1-10</i>	0,6-10 (18)
Niederwald	1480-2200 (7200)	74-105	4	<i>40-80</i>	3-12 (20)
Mittelwald	536-888	150-250 (450)	3-5	<i>10-40</i>	4-14 (25)

Die hohe Schwankungsbreite der Stammzahlen auch innerhalb einzelner Waldtypen sowie die oben genannte Problematik der sehr unterschiedlichen Dimensionen der Bauhölzer veranlasst mich, anstelle der Stammzahlen pro Hektar den Holzvorrat als Richtwert für die Berechnung des Flächenbedarfs für die Bauholzgewinnung zugrunde zu legen. Während man beim Betrachten der Stammzahlen pro Hektar versucht sein könnte, einen Unterschied zwischen urwaldähnlichen und anthropogen beeinflussten Wäldern um mehr als eine Größenordnung zu vermuten, so ist das Bild unter Verwendung des Holzvorrats konsistenter und die Unterschiede zwischen den Waldtypen relativieren sich etwas.

Unter der Voraussetzung, dass die Annahmen zum Anteil nutzbaren Bauholzes in den drei Waldtypen in Tab. 31 in etwa realistisch sind, wächst in vielen Fällen auf einem Hektar Primärwald ausreichend für die Pfahlbauweise geeigneten Holzes, um damit 0,6-10 Häuser zu bauen; der Extremwert mag hier bei 18 Häusern liegen. Ich gehe davon aus, dass die geringeren Werte eher für die späteren Entwicklungsphasen gelten, während in den frühen Entwicklungsphasen (insbesondere in der Initialphase, siehe Abb. 35 und Abb. 36) eher höhere Anteile geeigneter Stämme zu finden sei dürften. Da aber der Flächenanteil dieser Phase bei nur 20% liegt, liegt der Mittelwert für urwaldähnliche Bedingungen vermutlich zwischen 1 und 5 Häusern, die vom Holzangebot eines Hektars errichtet werden kön-



nen. Höher ist dieser Wert unter Niederwald- und Mittelwaldähnlichen Bedingungen. Hier können 3-12 bzw. 4-14 Häuser mit dem Bauholz eines Hektars errichtet werden, wobei jeweils in Extremfällen auch 20-25 Häuser möglich sein dürften. Diese Werte ähneln den Angaben bei Bleicher (2009, S. 96). Er kalkuliert für die 11 Häuser der Siedlung Seekirch-Stockwiesen (um 2900 v. Chr.) eine Buchendickung von mindestens einem Hektar.

#### 8.2.9.4 Simulation

Auch für die Deckung des Bauholzbedarfs wird für den Agenten (die Hauseinheit) zu Beginn jedes Jahres ein Bedarf an Bauholz errechnet. Dieser erreicht alle fünf Jahre den in Tab. 24 beschriebenen Wert von 7 Fm / Haus und beschreibt den Bedarf für den Hausbau im selben Jahr sowie für weitere bauliche Tätigkeiten und Reparaturen in den Zwischenjahren. In den dazwischenliegenden Jahren wird keine Bauholzgewinnung angenommen und damit der Wert auf 0 gesetzt. Die Wertigkeit der Flächen ist in Tab. 23 angegeben. Dabei ist zu beachten, dass durch Entnahme des Bauholzes auf einer Zelle ihr Wert „`ptimberregrow`“ auf 25 bzw. 50 gesetzt wird, je nachdem ob „Nachhaltigkeit“ angewählt wurde oder nicht. Die Annahme ist also, dass alle 50 Jahre eine nachhaltige Entnahme von Bauholz durchgeführt werden kann, während eine erneute Entnahme von Bauholz nach nur 25 Jahren eine Degradation dieser Fläche zur Folge hat (siehe Tab. 26 und Tab. 27). Diese Werte sind wiederum nicht ausreichend durch Daten belegt und müssen daher als spekulative Annahmen bezeichnet werden. Es wäre eine sehr spannende Aufgabe für die Zukunft, hier durch die Integration von validierten Wachstumsmodellen zu einer verlässlichen Methode der Quantifizierung zu gelangen.

#### 8.2.10 Die Integration der Brennholznutzung

Die Brennholzversorgung der Siedlungen ist ein noch relativ wenig erforschtes Teilgebiet der Subsistenzwirtschaft. Dabei ist Feuer das ganze Jahr hindurch für die Nahrungszubereitung von alltäglicher Bedeutung, und im Winter vermutlich zusätzlich für die Wärmegewinnung. Daher kann die Untersuchung der Strategien der Brennholzversorgung einen wesentlichen Beitrag zum Verständnis der Neolithischen Gesellschaften in den Seeufersiedlungen liefern.

##### 8.2.10.1 Datenlage: Brennholzbedarf der Häuser

Zwei Untersuchungen zur Brennholzversorgung der Feuchtbodensiedlungen wurden von Dufraisse (Dufraisse 2008, 2005) vorgelegt. Darin diskutiert sie die Strategien der Brennholzversorgung und die entsprechenden Waldbewirtschaftungsmaßnahmen in der Siedlung Chalain 4 (3040-3000 v. Chr.) am Lac de Chalain. Sie zeigt, dass vermutlich keine spezifische Auswahl der Holzarten bei der Brennholzbeschaffung getroffen wurde, sondern dass die Häufigkeit der dokumentierten verkohlten Reste von Brennholz in den Kulturschichten vermutlich der jeweiligen Häufigkeit der Taxa in der Siedlungsumgebung entspricht. Auch findet sie Hinweise dafür, dass Bäume mit einem hohen, anders gelagerten Nutzwert (wie Apfelbäume oder Haselnusssträucher für die Nahrungsversorgung, oder Eichen für die Bauholzgewinnung) im Brennholzspektrum eher unterrepräsentiert sind. Bezüglich der Durchmesser der verwendeten Hölzer kann Dufraisse eine klare Präferenz für gering dimensionierte Hölzer von weniger als 10-15 cm nachweisen. Sie vermutet, dass das Sammeln von Feuerholz entlang der täglichen Routen geschah.

Eine Rekonstruktion des Bedarfes an Brennholz pro Haus muss notwendigerweise mit einer gewissen Unsicherheit behaftet bleiben; sie kann letztlich nur anhand ethnologischer Analogien erfolgen. Für diesen Zweck wurden Daten aus den Untersuchungen von Saqalli et al. (2014, zitiert aus Mazoyer und Roudart 1997), Ghilardi et al. (2009) und Hartter und Boston (2008) verwendet. Die darin gefundenen Angaben sind recht unterschiedlich bezüglich ihrer Referenzgröße (siehe auch Tab. 32): So werden einerseits 0,4 m<sup>3</sup> pro Person und Jahr für die Bandkeramik angegeben, daneben der Wert von 3, 4 +/- 0,8 kg pro Tag für selbstversorgende Gemeinschaften mit einem niedrigen Grad an technologischer Entwicklung in der Region Purhepcha in Zentralmexiko, ebenso wie die Angabe von 4000-5800 kg für einen Haushalt von 5 Personen in Uganda.

Auf eine gemeinsame Einheit und die Bezugsgröße eines Hauses à 6 Personen übertragen sind dies (bei Annahme des Gewichtes von 1100 kg pro Festmeter oder 780 kg pro m<sup>3</sup> gestapeltem, luftgetrocknetem Holz) 2,5 m<sup>3</sup> bzw. 2000 kg Hartlaubholz pro Jahr für die Bandkeramik, 4,8-7,8 m<sup>3</sup> oder 3800-6300 kg für die Region Purhepcha (bei Annahmen von 4 „brennholzbedürftigen“ Personen pro Haus) oder 5,6-7,4 m<sup>3</sup> bzw. 4380-5800 kg für die Werte aus Uganda. Anhand dieser Angaben definiere ich für die vorliegende Untersuchung einen jährlichen Brennholzbedarf von 6 m<sup>3</sup> oder 5500 kg pro Haus. Dieser Wert orientiert sich eher an den höheren Angaben in Ghilardi et al. (2009) bzw. Hartter und Boston (2008) als an den Annahmen in Saqalli (2014), weil sie besser durch ethnologische Daten abgesichert sind. Innerhalb der dort angegebenen Spanne wurde ein Wert im oberen Drittel gewählt, weil das Untersuchungsgebiet in einem eher kühleren Klima liegt.

Tab. 32: Brennholzbedarf für ein Modellhaus von 6 Personen nach verschiedenen Quellen und Angabe des in dieser Arbeit verwendeten Wertes

Kontext / Quelle	Bedarf in Raummetern (pro Haus a 6 Personen)	Bedarf in Gewicht (pro Haus a 6 Personen)
Bandkeramik Annahme (Saqalli et al. 2014)	2,5 m <sup>3</sup>	2000 kg
Zentralmexikanisches Hoch- land (Ghilardi et al. 2009)	4,8-7,8 m <sup>3</sup>	3800-6300 kg
Modellierung Uganda (Harter und Boston 2008)	4,2-7,4 m <sup>3</sup>	3250-5800 kg
Diese Arbeit	6 m <sup>3</sup>	4700 kg

#### 8.2.10.2 Datenlage: Brennholzangebot in den Waldbeständen

Ebenfalls mit Problemen behaftet ist die Rekonstruktion der zur Deckung des angenommenen Bedarfs erforderlichen Fläche. Denn je nach Vegetationsbedeckung kann das Angebot an geeignetem Brennholz sehr unterschiedlich sein; während ein alter Buchen- oder Eichenbestand in der Optimalphase oder ein sich selbst stark beschattender Bestand junger Bäume ein sehr hohes Angebot an Brennholz in gut nutzbaren Dimensionen liefert, kann ein vitaler, weniger dicht stehender Bestand deutlich geringere Vorräte aufweisen. Geht man langfristig und durchschnittlich von einem annähernden Gleichgewicht zwischen Zuwachs- und Absterberate aus, so mag aus der Angabe eines durchschnittlichen Zuwachses von 11 Festmetern (Fm) pro Jahr und Hektar (beobachtet in badischen Plenterwäldern, Lenk und Kenk 2007 sowie Mitscherlich 1952) eine Annäherung an einen Mittelwert gefunden werden.

Wenn man davon ausgeht, dass in erster Linie das absterbende Schwachholz als Brennholz Verwendung fand, so ergibt sich aus der Angabe der Verteilung des jährlichen Zuwachses von 80% auf das Starkholz, 15% auf das Mittelholz und nur 5% auf das Schwachholz (nach Lenk und Kenk 2007) ein jährliches Angebot von schwach dimensioniertem Brennholz von nur 0,55 Fm oder 0,8 m<sup>3</sup> gestapel-

tem Brennholz pro ha, was einem Gewicht von 600 kg lufttrockenen Holzes entspricht. Dass dieser Wert allerdings vermutlich zu tief angesetzt ist, kann aus den Angaben in [www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de) (2016), Bruckner und Strohmeier (2016) sowie Ghilardi et al. (2009) geschlossen werden. Während die ersten beiden Quellen von 800-1500 bzw. 1700 kg pro Jahr ausgehen, können gemäß der dritten Quelle 1100 kg in Buschland, 2000-3000 kg in Primärwäldern und bis zu 3500 kg Brennholz pro ha in Sekundärwäldern angenommen werden. In einem Haselreichen Mittelwald können nach 10 Jahren etwa 25, nach 15 Jahren 45 t ofentrockenes Holz gewonnen werden (Rossmann 1996 S. 102). Anhand dieser Angaben definiere ich für die vorliegende Untersuchung ein Brennholzangebot von 0,7-2 m<sup>3</sup> pro ha und Jahr bei ausschließlichem Auflesen von Brennholz und von 1,5-4 m<sup>3</sup> pro ha bei zusätzlichem Fällen geeigneten Holzes; siehe dazu Tab. 33.

Tab. 33: Brennholzproduktion auf einem Hektar Wald unter Nutzung verschiedener Quellen und Angabe der in dieser Arbeit verwendeten Werte (unterer Teil der Tabelle)

Kontext	Produktion von Brennholz (Raummeter/ha/a)	Produktion von Brennholz (kg/ha/a)
Berechnet nach Lenk und Kenk (2007)	0,8 m <sup>3</sup>	600 kg
Tfz Bayern (2016), Bruckner & Strohmeier (2016)	1-2,2 m <sup>3</sup>	800-1700 kg
Ghilardi et al. (2009)	1,5 m <sup>3</sup> in Buschland 3-4 m <sup>3</sup> in Primärwald > 4,6 m <sup>3</sup> in Sekundärwald	1100 kg in Buschland 2-3000 kg in Primärwald < 3500 kg in Sekundärwald
Diese Arbeit: Annahme von vorwiegendem Sammeln von Totholz	0,7 m <sup>3</sup> in jungem Sekundärwald 1,7 m <sup>3</sup> in Primärwald 2 m <sup>3</sup> in altem Sekundärwald	550 kg in Buschland 1200 kg in Primärwald 1500 kg in Sekundärwald
Diese Arbeit: Annahme von zusätzlichem Fällen von Brennholz	1,5 m <sup>3</sup> in jungem Sekundärwald 3,5 m <sup>3</sup> in Primärwald 4 m <sup>3</sup> in altem Sekundärwald	1100 kg in Buschland 2500 kg in Primärwald 3000 kg in Sekundärwald

### 8.2.10.3 Flächenbedarf der Häuser für die Brennholzgewinnung

Aus den Angaben in Tab. 33 kann der jährliche Flächenbedarf für die Brennholzgewinnung eines Hauses errechnet werden (Tab. 34). Unter der Annahme von ausschließlichem Sammeln von Totholz (wodurch Nachhaltigkeit gegeben wäre) sind dafür 3,5-10 ha pro Jahr erforderlich, während bei zusätzlichem Fällen lebender Bäume 1,8-4,7 ha benötigt werden. In letzterem Fall findet durch die beständige Entnahme junger Bäume eine Degradation der Waldbestände statt; siehe Tab. 26 und Tab. 27.

Tab. 34: Errechneter Flächenbedarf für die Brennholzversorgung eines Modellhauses mit 6 Bewohnern unter Annahme zweier verschiedener Versorgungsstrategien in überwiegend bewaldetem Gebiet

Brennholzversorgung	Flächenbedarf pro Haus und Jahr
Bei vorwiegendem Sammeln von Totholz	3,5-10 ha
Bei zusätzlichem Fällen von lebendem Holz	1,8-4,7 ha

#### 8.2.10.4 Simulation

Auch die Simulation des Flächenbedarfs für die Brennholznutzung erfolgt über den Bedarf des Agenten/der Hauseinheit, der zu Beginn jedes Jahres auf den Wert von  $6 \text{ m}^3$  pro Haus gesetzt wird. Der Agent besucht nacheinander so viele Zellen, bis sein Bedarf gedeckt ist. Durch die Entnahme von Bauholz erfolgt in jedem Fall eine Degradierung der Ressource in Höhe von 1% / 5% pro Jahr, je nachdem ob nachhaltige Nutzung angenommen wird.

### 8.3 Ergebnisse der Simulation: Der Flächenbedarf für die Subsistenzwirtschaft

#### 8.3.1 Grundeinstellungen der Simulation

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Simulation des Flächenbedarfs für die Landnutzung eines Modellhauses von 6 Bewohnern vorgestellt. Die ökonomischen Parameter zur Definition des Bedarfs an Ressourcen und Kalorien sind in Tab. 24 dargelegt: Ich rechne mit einem standardisierten jährlichen Kalorienbedarf von  $6 \cdot 2000 \cdot 365 = 4.380.000 \text{ kcal}$  (siehe auch Tab. 9), einem jährlichen Brennholzbedarf von  $6 \text{ m}^3$ , einem Bauholzbedarf von  $7 \text{ m}^3$  in fünf Jahren, einem festgelegten Ernährungsanteil von Fisch in Höhe von 3% und von Haustierprodukten in Höhe von 1-10%, je nach Szenario. Der Anteil von Wildtierfleisch und Sammelpflanzen beläuft sich auf mindestens 4% bzw. 6%, und erhöht sich im Fall von nicht ausreichender Deckung des gesamten Jahreskalorienbedarfs aufgrund von geringen Getreideernten, bis 100% erreicht sind. Dabei kann das Verhältnis von Jagd- zu Sammelkalorien an der Deckung des Fehlbetrages in der Simulation beliebig eingestellt werden, wurde jedoch im in den Untersuchungen konstant bei 40:60 angenommen. Die Simulation von größeren Siedlungen mit WELASSIMO\_fläche erfordert sehr viel Rechnerkapazität; die Simulation aller Szenariokombinationen wäre daher auf meinem bereits ordentlichen Laptop nicht durchführbar gewesen. Damit wird angenommen, dass sich der Flächenbedarf einer Siedlung von 10 oder 100 Häusern durch die Multiplikation des Flächenbedarfs eines Hauses mit den Häusern pro Siedlung errechnen lässt – was sicher nicht ganz richtig ist, wie weiter unten diskutiert wird.

#### 8.3.2 Die Auswirkung der Landschaftsszenarien LD\_S1-LD\_S6

Die Landschaftsszenarien LD\_S1-LD\_S6 unterschieden sich durch die Art und den Flächenanteil der Landschaftselemente, aus denen die Landschaft zusammengesetzt ist (siehe Kap. 8.2.2 und Abb. 34). Da jedes Landschaftselement eine unterschiedliche Vegetationsbedeckung repräsentiert, unterscheiden sich auch die vorhandenen Ressourcen auf den jeweiligen Zellen und damit die Ressourcenverfügbarkeit in den Landschaften allgemein (siehe Abb. 38-Abb. 42). Dabei sind die Auswirkungen von zunehmender Landschaftsöffnung nicht linear als positiv oder negativ zu bewerten, weil z.B. die Ressource Brennholz in einem dicht geschlossenen Waldland in größerer Menge vorhanden ist als in offenerem Land; dagegen nimmt die Wertigkeit für die Rinderweide mit dem Grad der Öffnung zu. Diese Zusammenhänge bedingen die Unterschiede zwischen den in den folgenden Kapiteln 8.3.2.1 bis 8.3.2.5 vorgestellten Ergebnissen der Simulation der ökonomischen Szenarien und werden dort vertieft erläutert. Dabei werden nicht alle simulierten Kombinationen der Szenarien diskutiert, weil dies nicht zielführend wäre; die Unterschiede sind zum Teil zu gering, um sie in der gewählten Präsentationsform erkenntlich zu machen. Stattdessen werden in den Kapiteln 8.3.2.1 bis 8.3.2.5 die Ergebnisse der Simulation von jeweils einem ökonomischen Szenario vor dem Hintergrund der Landschaftsszenarien LS\_S1-LD\_S6 vorgestellt, es werden also von den insgesamt simulierten 90 möglichen Szenariokombinationen nur 30 besprochen. Bei allen Szenarien wird von nicht-nachhaltiger Wirtschaftsweise ausgegangen (siehe Tab. 26). Ich habe mich entschieden, diese Ergebnisse von

WELASSIMO\_fläche nicht in Kartenform darzustellen, sondern die jeweiligen Verläufe der Kurven zu Ernährung und Flächenbedarf als Diagramm darzustellen, weil ich diese Darstellungsform an dieser Stelle für aussagekräftiger halte. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen Abb. 43 bis Abb. 47 visualisiert. Dabei sind jeweils auf den linken Bildelementen die Anteile von Getreide, Jagdfleisch und Sammelpflanzen an der Gesamternährung während einer Simulationsdauer von 20 Jahren angegeben. Die Anteile von Haustierprodukten (Fleisch sowie Milch und evtl. Milchprodukte) und Fisch sind Tab. 24 zu entnehmen; weil sie sich im Verlauf der 20 Jahre nicht ändern, sind sie nicht in der Grafik enthalten. Auf der rechten Seite der Abbildungen 42-46 ist der simulierte Flächenbedarf für ausgewählte ökonomische Aktivitäten dargestellt. Zusätzlich wird die Kategorie „Fläche Nahfeld“ berechnet. Dieser Wert entspricht dem Flächenbedarf für Feldbau, Fischfang, Brennholz- und Bauholzgewinnung. Da sich im Modell die Brennholz- und Bauholzgewinnung nicht gegenseitig ausschließen, sondern die gleichen Flächen nutzen, stellt die Summe der zwei Aktivitäten die Summe aus Fischfang plus dem höchsten der Werte für Bau- bzw. Brennholzversorgung dar – was immer die Brennholzversorgung ist (deswegen bilden sich die „Stufen“ im Flächenbedarf für die Bauholzentnahme nicht in der Kurve für das Nahfeld ab).

#### 8.3.2.1 Die Szenarien LD\_S1 bis LD\_S6 in Kombination mit dem Szenario OES\_S1b

Auf den linken Bildelementen von Abb. 43 werden die prozentualen Anteile der Nahrungsbestandteile Getreide, Sammelpflanzen und Wildtierfleisch dargestellt. Die Kurve der verzehrbaren Getreidemengen (gelb) schwankt wegen der Variabilität der jährlichen Witterung stark. In OES\_1b beträgt die angenommene Feldfläche 0,6 ha, es wird mit Kuhmist in Höhe von 10 t/ha/Jahr gedüngt. Dadurch sind Getreideanteile von 50% - 80% häufig, wobei aber auch deutlich höhere sowie deutlich schlechtere Jahre auftreten. In den Kurven ist die Abnahme der Bodenfruchtbarkeit deutlich durch sinkende mittlere Erträge zu erkennen. Dennoch werden auch nach 20 simulierten Jahren noch vereinzelt hohe Anteile erreicht. Die Kurven der Getreideerträge werden invers gespiegelt durch die Kurven der Anteile des Wildtierfleisches und der Sammelpflanzen. Das ist dadurch begründet, dass bei geringeren Getreideerträgen der Fehlbetrag an Kalorien durch vermehrtes Jagen und Sammeln aufgefangen wird. Dies geschieht in einem angenommenen Verhältnis von Wildtierfleisch zu Sammelpflanzen von 40:60. Auch bei Getreideerträgen von über 100% wird noch ein gewisser Sockelbetrag an Kalorien aus Jagen und Sammeln simuliert, da selbst bei der theoretischen Möglichkeit dazu eine Ernährung zu 100% durch Getreide ausgeschlossen werden kann. Auf den Bildelementen auf der rechten Seite ist der Flächenbedarf für das Sammeln in grün, die (Wald-) Weide in blau und die Jagd in Rot dargestellt; die Kurve für die Jagd ist mit dem Faktor 0,1 dargestellt, die Werte betragen also das Zehnfache des dargestellten Wertes. In klein gepunkteter Linie ist der Flächenbedarf für die Bauholzversorgung in 10-facher Überhöhung abgebildet, in lang gestrichelter Linie die als ökonomisches „Nahfeld“ bezeichnete Fläche für den Fischfang, Getreideanbau sowie die Bau- und Brennholzversorgung dargestellt. Hier fällt zunächst die von oben nach unten, d.h. mit steigendem Grad der Landschaftsöffnung (siehe Tab. 22) kontinuierliche Abnahme der Kurven für die Fläche der (Wald-) Weide sowie für das Sammeln von Wildpflanzen ins Auge. Für die Ernährung der vier Rinder, die in OES\_1b pro Haus angenommen werden, sind bei einer geschlossenen Waldlandschaft (LD\_S1) 22 ha erforderlich. Diese Fläche verringert sich mit zunehmendem Anteil von Sekundärwaldflächen, Brachland und Grünland (letzteres nur in LD\_S6) bis auf 10 ha (siehe dazu Abb. 38). Die Verringerung des Flächenbedarfs für das Sammeln von Wildpflanzen ist vor allem beim Vergleich von LD\_S1 bis LD\_S3 durch ein Absinken der Maximalwerte von 18 über 12 auf 5 ha sichtbar und bildet damit die erhöhte Wertigkeit von Sekundärwald, Brachflächen und insbesondere von Waldgärten für diese Aktivität ab. Für die Gewinnung der erforderlichen Menge an Kalorien aus Wildtierfleisch wird in allen Landschaftsszenarien eine jeweils annähernd gleiche Fläche von 50-220 ha benötigt. Es wird hier darauf verwiesen, dass

dieser Wert auf Daten aus Turcek (1971) beruht, welche eine einen Mittelwert für europäische Laubwälder darstellen – daher muss die Flächenangabe von 50-220 ha ebenfalls als Mittelwert gedacht werden, der im Einzelfall sicherlich höher oder tiefer gelegen haben mag. Ich nehme für alle Landschaftselementen mit Ausnahme der Feldflächen eine identische Wertigkeit für die Jagd an, daher liegt der Flächenbedarf bei allen Landschaftsszenarien ähnlich hoch und schwankt lediglich in Abhängigkeit von der erforderlichen Kalorienmenge, die daraus gedeckt werden muss. Die Fläche für die Bauholzgewinnung ist in allen Szenarien jeweils recht ähnlich und liegt nach 20 Jahren, also nach 4 Zyklen der Bauholzentnahme, bei 1,0 bis 1,8 ha Fläche (die Kurve ist in der Abbildung 10-fach überhöht dargestellt, um besser erkennbar zu sein). Die Ähnlichkeit der Werte trotz unterschiedlicher Ressourcenverfügbarkeit in den einzelnen Landschaftselementen liegt in dem unterschiedlichen Grad der gesamten Bewaldung begründet. So hat zwar ein Hektar reinen Buchenmischwaldes im Vergleich zu einem Hektar Niederwald einen deutlich geringeren Anteil an geeignetem Bauholz (Tab. 23 und Abb. 40), dafür ist aber der bewaldete Flächenanteil beispielsweise in S1 viel größer als in S6. (Noch dazu muss an dieser Stelle kritisch hinzugefügt werden, dass wegen der Simulation des Bedarfs von nur einem Haus bei diesen geringen erforderlichen Flächen der Effekt der randomisierten Landschaftserstellung besonders stark zum Tragen kommt. Dadurch können scheinbare Unterschiede zwischen den Szenarien bewirkt werden, die aber nicht auf die Annahmen in den Szenarien zurückzuführen sind, sondern durch die unterschiedliche Ressourcenverfügbarkeit im Umfeld der Siedlung zwischen den einzelnen Simulationen bedingt sind. Dies kann durch eine erneute Simulation mit mehr Häusern vermieden werden). Der Flächenbedarf für das Sammeln von Brennholz ist in den Diagrammen der Übersichtlichkeit halber nicht im Einzelnen, sondern nur integriert im Flächenbedarf für das Nahfeld dargestellt. Er ist in Jahr 1 in LD\_S1 mit knapp 1,9 ha am geringsten und nimmt mit dem Grad der Landschaftsöffnung auf 3 ha pro Haus in Jahr 1 zu. Durch die jährliche, nicht-nachhaltige Entnahme und die damit verbundene Degradation der Ressource (siehe Tab. 26) steigt der Flächenbedarf für die Brennholzversorgung im Lauf der simulierten 20 Jahre auf 3,9 bis 5,5 ha an. Der als Nahfeld definierte Bereich für Feldbau, Fischfang sowie Bau- und Brennholzgewinnung liegt hier recht konstant bei 5-8 ha.

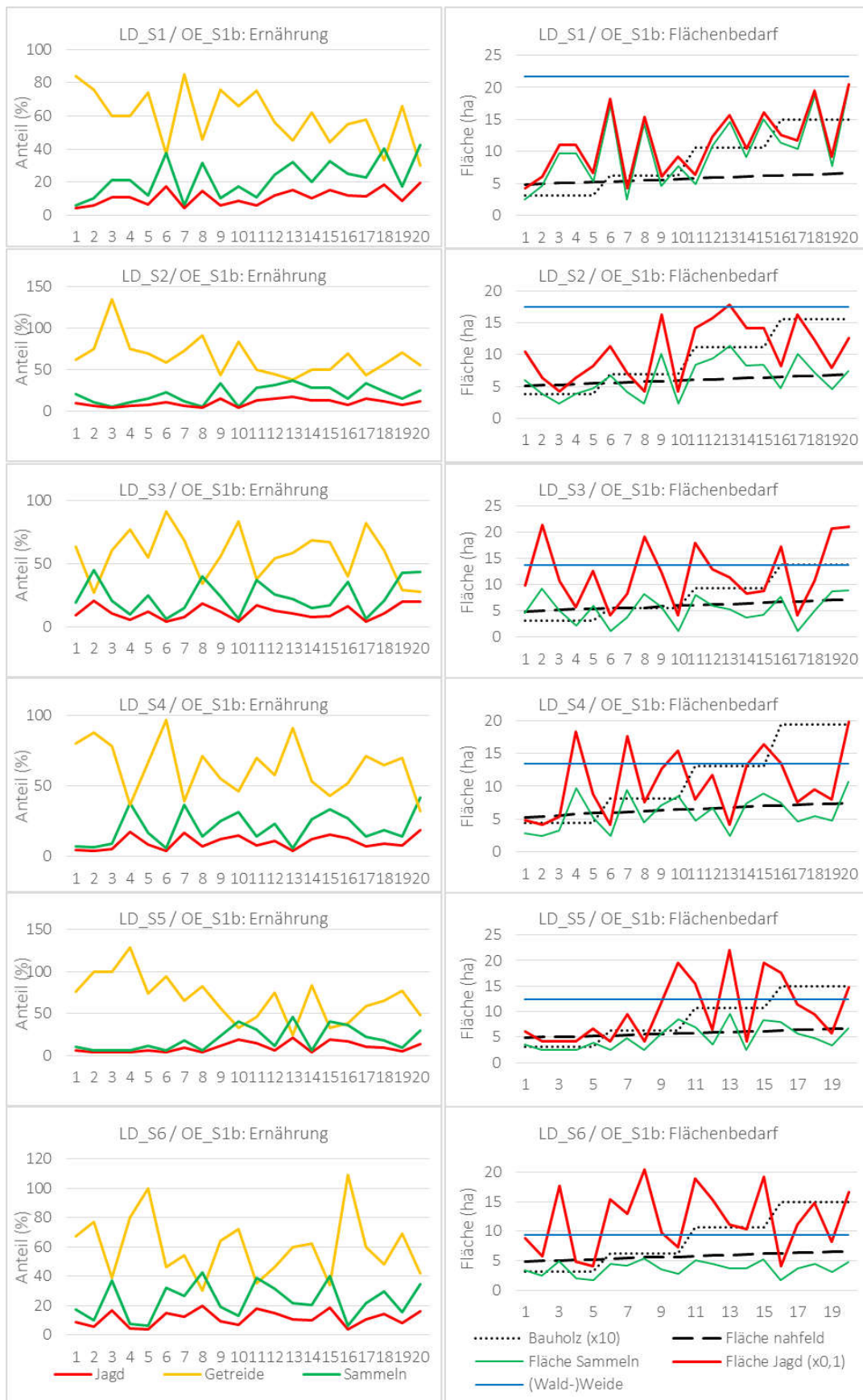


Abb. 43: Simulation der Ernährung und des Flächenbedarfs eines Hauses unter Kombination der landschaftlichen Szenarien LD\_S1 bis LD\_S6 mit dem ökonomischen Szenario OES\_1b

### 8.3.2.2 Die Szenarien LD\_S1-LD\_S6 in Kombination mit dem Szenario OES\_S2b

Szenario OES\_2b (Abb. 44) unterscheidet sich von OES\_1b durch die Annahme einer Feldfläche von 1 ha anstatt von 0,6 ha, durch den Verzicht auf Düngung, sowie durch die Annahme von nur einem Rind pro Haushalt. Der Getreideanteil an der Gesamternährung unterscheidet sich anfänglich durch die höhere Feldfläche nicht stark von den in Abb. 43 gezeigten Kurven, jedoch sinkt der Getreideanteil dann wesentlich rascher auf geringere Werte ab. Dies drückt sich auch durch höhere Anteile von Jagd- und Sammelpflanzen aus, die in einzelnen Jahren über 50% betragen können. Für die Ernährung von nur einem Tier pro Haus ist eine Fläche von 2 ha (in LD\_S6) bis 5 ha (in LD\_S1) erforderlich. Die meisten der anderen Werte entsprechen etwa den in 8.3.2.1 vorgestellten. Wie schon in Abb. 43 zu sehen war und auch in den folgenden Abbildungen erkennbar wird, ist der geringste Flächenbedarf für die Bauholzgewinnung in LD\_S3 zu finden; dies liegt an dem hohen Bewaldungsgrades mit hohem Sekundärwaldanteil in diesem Szenario.



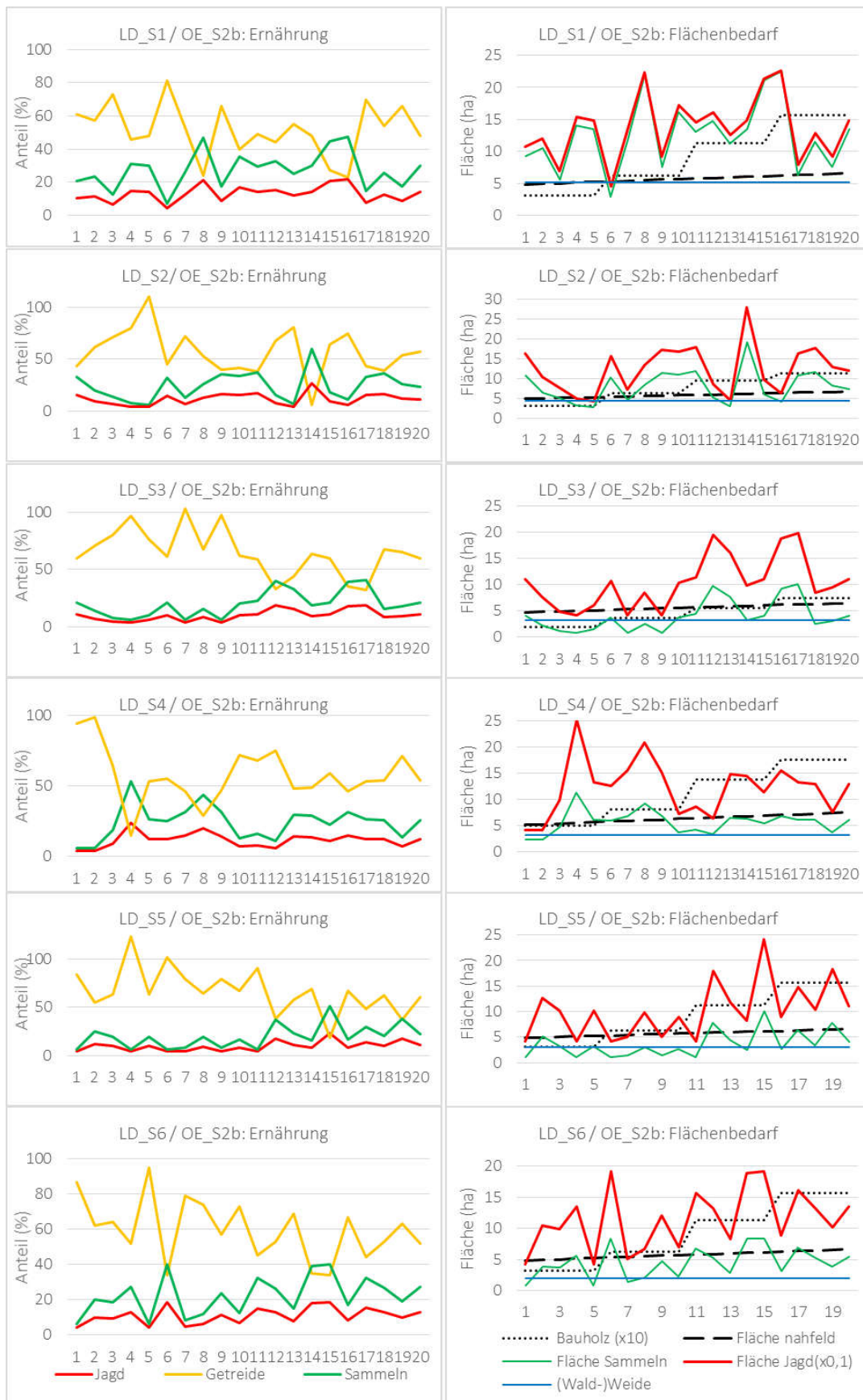


Abb. 44: Simulation der Ernährung und des Flächenbedarfs eines Hauses unter Kombination der landschaftlichen Szenarien LD\_S1 bis LD\_S6 mit dem ökonomischen Szenario OES\_2b

### 8.3.2.3 Die Szenarien LD\_S1-LD\_S6 in Kombination mit dem Szenario OES\_3b

In OES\_3b (Abb. 45) wird Brandfeldbau mit Einhaltung einer Buschbrache von 8 Jahren auf einer Feldfläche von 0,4 ha pro Jahr durchgeführt. Der Rinderbestand liegt bei nur 0,5 Tieren pro Haus, der Anteil von Haustierprodukten an der gesamten Ernährung beträgt 3% pro Jahr (im Gegensatz zu 5% bei den beiden bisher vorgestellten Szenarien). Die Getreideanteile schwanken in den meisten Fällen zwischen 40% und 60%. Die Fläche für die (Wald-) Weide fällt mit 1,5-3 ha pro Haus kaum ins Gewicht und wird daher hier nicht dargestellt. Stattdessen wird der Anteil der Brachflächen dargestellt, die durch die jährliche Verlegung der Felder in immer weiter entfernte Gebiete mit für das Brandverfahren geeigneter Vegetation verlegt werden. Dieser Anteil steigt kontinuierlich weiter an, bis im Jahr neun wieder die Flächen aus dem ersten Jahr der Zyklus erneut in Nutzung genommen werden. Dies drückt sich durch den Knick der entsprechenden Kurve aus. Daher ist der Anstieg der Brachflächen gleichbedeutend mit immer weiter steigenden Entfernungen der Feldflächen. Es besteht auch eine gewisse „Nutzungskonkurrenz“ um gering dimensionierte Hölzer, die einerseits für das Brandverfahren geschlagen werden, und andererseits aber auch als Bauhölzer gebraucht werden – dadurch liegt der Flächenbedarf für die Bauholzgewinnung in allen Kombinationen von OES\_3b mit bis zu 4 ha nach 20 Jahren deutlich über dem in den zuvor genannten Szenarien, wo der maximale Wert 2,18 ha beträgt. Deutlicher noch wirkt sich das Verfahren auf die Brennholzverfügbarkeit aus: So werden in OES\_3b maximale Flächen von bis zu 11 ha in der Kombination mit LD\_S6 erreicht, während in OES\_2 dafür nur maximal 5,6 ha erforderlich sind. Dadurch steigt auch der die Fläche des „Nahfeldes“ auf Werte von maximal 14 ha an.

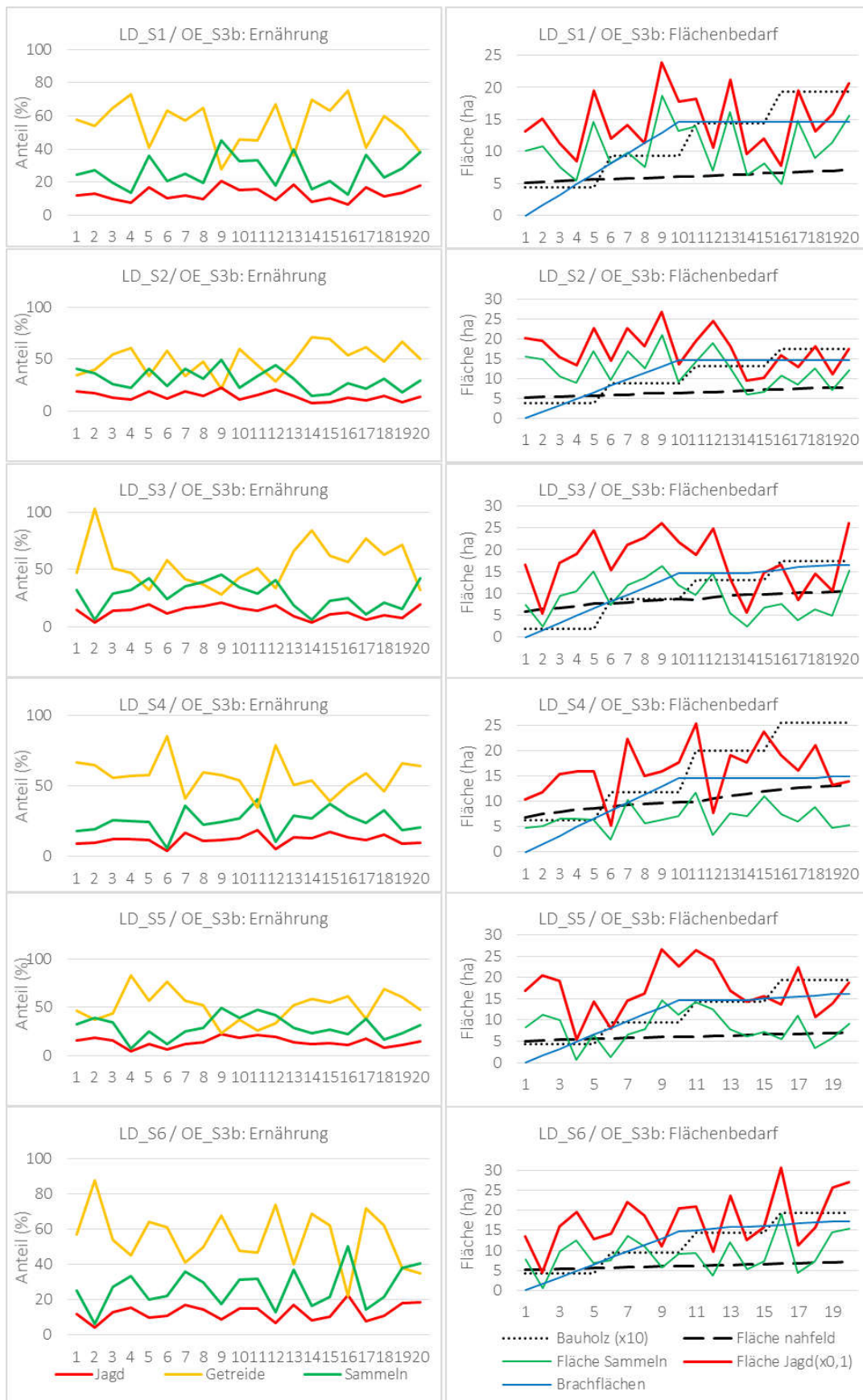


Abb. 45: Simulation der Ernährung und des Flächenbedarfs eines Hauses unter Kombination der landschaftlichen Szenarien LD\_S1 bis LD\_S6 mit dem ökonomischen Szenario OES\_3b

#### 8.3.2.4 Die Szenarien LD\_S1-LD\_S6 in Kombination mit dem Szenario OES\_S4b

OES\_4b (Abb. 46) unterscheidet sich vom zuvor diskutierten OES\_3b nur durch die Dauer der Brache zwischen zwei Anbauperioden, die hier bei 15 Jahren liegt. Dadurch werden nochmals höhere Erträge auf den Getreidefeldern von 0,4 ha erzielt, die eine Deckung in der Mehrzahl der Fälle von 50-100% Getreide ermöglichen. Gleichzeitig werden dadurch aber auch große Flächen durch den Brandfeldbau beeinflusst, was zu einem Anstieg der Brachflächen auf bis zu 25 ha nach 15 bis 20 Jahren führt. Die Kurve der Fläche des Nahfeldes steigt nicht in gleicher Weise an wie in OES\_3, weil nach 9 Jahren eine gewisse Menge nutzbaren Brennholzes nachgewachsen ist. Daher sinkt die Kurve nach dieser Zeit sogar leicht ab.

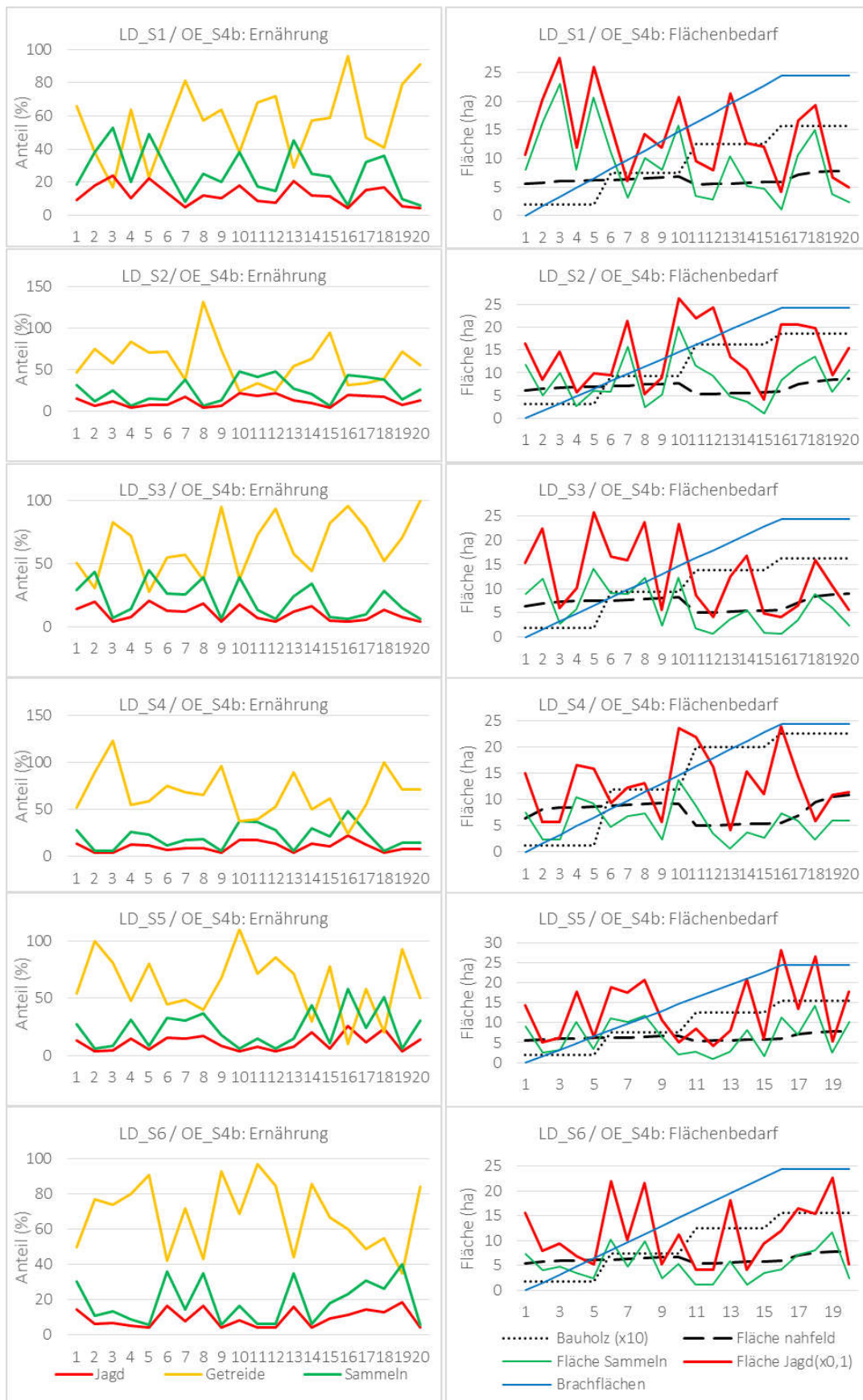


Abb. 46: Simulation der Ernährung und des Flächenbedarfs eines Hauses unter Kombination der landschaftlichen Szenarien LD\_S1 bis LD\_S6 mit dem ökonomischen Szenario OES\_4b

#### 8.3.2.5 Die Szenarien LD\_S1-LD\_S6 in Kombination mit dem Szenario OES\_5b

In OES\_5b wird Pflugbau ohne Düngung auf einer Feldfläche von 1 ha jährlich durchgeführt (Abb. 47). Es werden 2 Rinder pro Haushalt und ein im Vergleich zu den übrigen Szenarien höherer Anteil von 10% Haustierprodukten an der Ernährung angenommen. Das für den Feldbau ohne Düngung typische Muster von Anfangserträgen, die rasch und nachhaltig auf deutlich geringere Werte absinken (siehe Kap. 7.4.4) ist in den Bildelementen 2,3,4 und 6 (von oben gezählt) deutlich erkennbar. Hier liegen die Getreideanteile während der Jahre 1-10 in den meisten Fällen zwischen 40 und 70%, jedoch sinken die Erträge dann deutlich ab und erlauben lediglich noch Getreideanteile von 20-50%. Dadurch sind größere Anteile an Kalorien aus Jagd- und Sammelpflanzen erforderlich, letztere erreichen regelhaft Anteile von 40-50%. In den Bildelementen 1 und 5 ist dieses Muster nicht erkennbar, was darin begründet ist, dass den Darstellungen jeweils nur eine Wiederholung zugrunde liegt – dadurch entstehen auch Abweichungen vom erwarteten Muster. Der Flächenbedarf für die Ernährung der 2 Rinder pro Haus liegt bei 10 ha in LD\_S1 und geht wegen des hohen Offenlandanteils auf 4,5 ha in LD\_S6 zurück. Die übrigen Kurven folgen einem ähnlichen Verlauf wie bereits oben für OES\_1b und OES\_2b dargestellt.

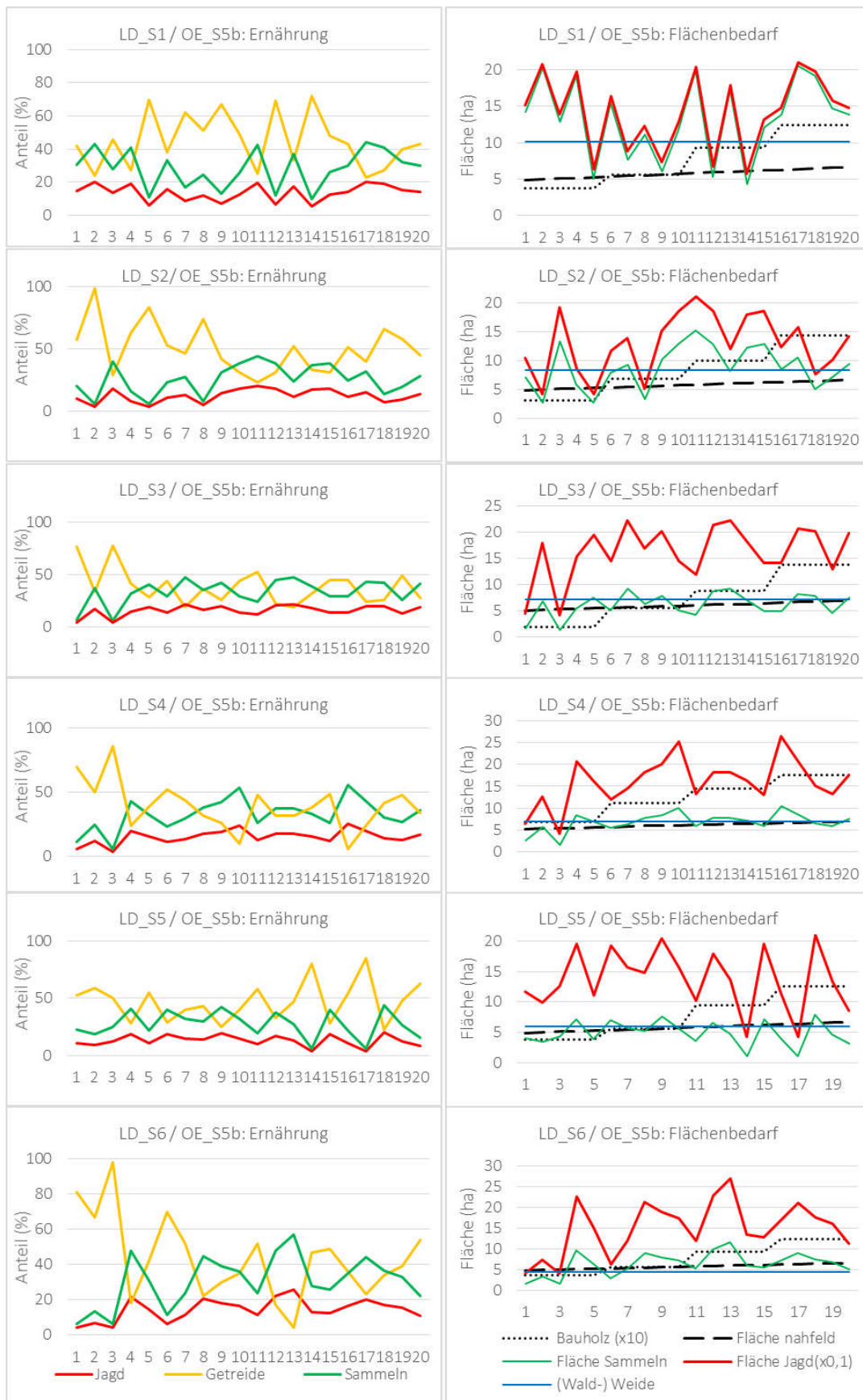


Abb. 47: Simulation der Ernährung und des Flächenbedarfs eines Hauses unter Kombination der landschaftlichen Szenarien LD\_S1 bis LD\_S6 mit dem ökonomischen Szenario OES\_5b

### 8.3.3 Die Auswirkungen der ökonomischen Szenarien OES\_1b bis OES\_5b

Für dieses Kapitel wurden in Abb. 48 beispielhaft die jeweils obersten zwei Bildelemente (links und rechts) aus Abb. 43 bis Abb. 47 zusammengestellt, es werden also die Kombinationen der Szenarien OES\_1b bis OES\_5b mit dem Landschaftlichen Szenario LD\_S1 dargestellt. Auf diese Weise ist es möglich, die Auswirkungen der in Tab. 24 definierten ökonomischen Szenarien zusammenfassend zu diskutieren. Die Größe der Feldflächen wurde in den genannten Szenarien so gewählt, dass die Getreideanteile an der Jahreskalorienversorgung selten über 100% liegen. Dies liegt in der Annahme begründet, dass die Vorratskapazitäten für nicht mehr als ein Jahr ausgelegt waren, und dass keine Überschussproduktion angestrebt wurde.

Dieses Ziel wird erreicht, indem Feldflächen von 0,4 ha für die Brandverfahren (OES\_3b und OES\_4b), 0,6 ha für Gartenbau mit Düngung (OES\_1b) sowie 1 ha für GB und PB ohne Düngung (OES\_2b und OES\_5b) angenommen werden. Die aus diesen Feldgrößen resultierende Kalorienversorgung durch Getreide erreicht Werte von 20-95%. Wegen der Darstellung nur eines Simulationslaufes lassen sich die typischen Eigenschaften der Ertragsbildung bei den verschiedenen Verfahren, wie sie in Abb. 23 dargestellt sind, nicht so gut erkennen. Insbesondere die sehr geringen Erträge in dieser Simulation bei OES\_4b sind eher untypisch. Dennoch kann eine bedeutende Eigenschaft aller Verfahren deutlich gemacht werden: Die Erträge schwanken beträchtlich, und halten sich somit keineswegs an die Ihnen statistisch eingeschriebenen Mittelwerte. Dies konnte bereits in Abb. 21a gezeigt werden; in der Simulation, wie sie hier vorliegt, kann jedoch direkt die Auswirkung dieser Ertragsschwankungen auf die übrigen Nahrungsgruppen sowie den dafür erforderlichen Flächenbedarf beobachtet werden.

Die Feldflächen sind (wie auch auf den vorigen Darstellungen) auf der rechten Seite der Abbildung nicht dargestellt, weil sie konstant und in allen ökonomischen Szenarien sehr klein sind. Dagegen muss für OES\_3b und OES\_4b die große Ausdehnung von Brachflächen und jungem Sekundärwald (blau gestrichelte Linie) betont werden, die sich aus den Erfordernissen des Brandfeldbaus mit fortgesetzter Nutzungsdauer ergibt. Für die übrigen Elemente der Ernährung wird ein angenommener Sockelbetrag der Kalorienversorgung durch einen festgesetzten Anteil Fisch (3%), Wildtierfleisch (4%), Sammelpflanzen (6%) und Haustierprodukte abgedeckt, wobei in der letzten Kategorie für die verschiedenen Szenarien unterschiedliche Werte von 3-10% angenommen werden. Für die Versorgung mit Haustierfleisch und Fisch habe ich konstante Werte angenommen, weil ich vermute, dass diese Nahrungsquellen im Fall geringer Getreideerträge nicht ohne weiteres gesteigert werden konnten. Daher sind diese Kurven auch nicht in den Abbildungen enthalten.

Dagegen gehe ich für das Sammeln von Wildpflanzen sowie für die Jagd davon aus, dass diese beiden als „strategische Ressourcen“ eingesetzt wurden, und im Fall unzureichender Kalorienversorgung intensiviert wurden (siehe Kap.8.2.8). Dies geht deutlich aus den in den linken Bildelementen dargestellten Kurvenverläufe dieser drei Nahrungsgruppen hervor. Entsprechend der oben formulierten Annahme wird ein größerer Kalorienanteil durch Sammelpflanzen als durch Jagdwild erreicht. Der dafür erforderliche Flächenbedarf liegt in OES\_1, OES\_2 und OES\_5 höher als in OES\_3 und OES\_4 wegen der dort erhöhten Wertigkeit von Brachflächen für das Sammeln von Wildpflanzen. Dabei muss nochmals betont werden, dass die über den Sockelbetrag hinaus erforderlichen Kalorien in einem willkürlich definierten Verhältnis von Jagd zu Sammelpflanzen von 40:60 erzielt werden. Für die Jagd sind wie bereits oben diskutiert zwischen 50 und 250 ha pro Haushalt erforderlich.



Beim Vergleich der rechten Bildelemente fällt die hohe Auswirkung der Anzahl gehaltener Rinder auf den gesamten Flächenbedarf ins Auge. So ist für die Ernährung der 4 Rinder in OES\_1b eine Fläche von 22 ha jährlich erforderlich. Für die 2 Rinder in OES\_5b werden 11 ha benötigt, für 1 Rind in OES\_2b 5 ha und für 0,5 Rinder in OES\_3b und 4b 2,5 ha. Damit wird deutlich, welche hohe Bedeutung die Anzahl der gehaltenen Tiere in einer Siedlung für den gesamten Flächenbedarf hat. Auch die Jagd sowie das Sammeln von Wildpflanzen erfordern einen hohen Flächenbedarf. Es ist jedoch festzuhalten, dass der Flächenbedarf für die Rinderweide das Ergebnis einer täglich zu vollführenden Handlung ist, während die Jagd und das Sammeln von Wildpflanzen vermutlich periodisch konzentriert stattfinden und ihre Intensität je nach Verfügbarkeit oder Bedarf stark schwankt. Dies kann in der hier gewählten zeitlichen Auflösung von einem Jahr allerdings nicht dargestellt werden. Der als Nahfeld bezeichnete Bereich, also die für Feldbau, Bau- und Brennholzgewinnung sowie den Fischfang Fläche, umfasst in allen Szenarien etwa 5-7 ha. Er steigt im Verlauf der Nutzungsdauer leicht an, was vor allem in der zunehmenden Entfernung für die Brennholzgewinnung begründet ist. Auch die gesamte für die Bauholzgewinnung erforderliche Fläche steigt im Verlauf der simulierten 20 Jahre von etwa 0,5 auf knapp 2 ha an (in der Darstellung 10-fach überhöht).

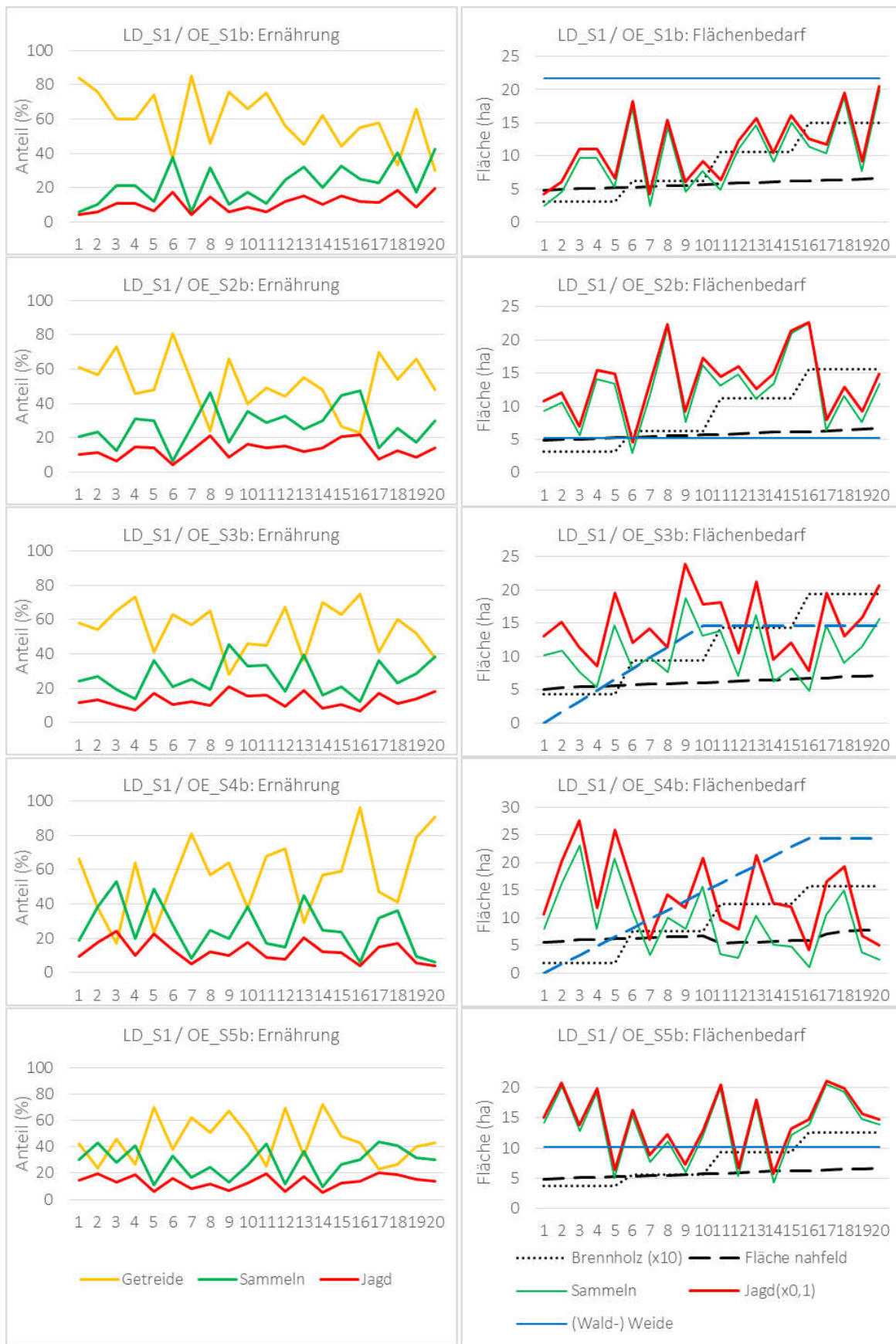


Abb. 48: Simulation der Ernährung und des Flächenbedarfs eines Hauses unter Kombination der ökonomischen Szenarien OES\_1b bis OES\_5b mit dem landschaftlichen Szenario LD\_S1. Zu beachten: die blaue gestrichelte Linie (3. u. 4. Bild) ist die Signatur für die Brachfläche (nicht in Legende dargestellt)

## 8.4 Modellbildung

### 8.4.1 Ein Modell des Flächenbedarfs eines Hauses für ökonomische Aktivitäten

Anhand der Ergebnisse von Kap. 8.3 wurde ein Modell des Flächenbedarfs für die bisher diskutierten Aspekte der Subsistenzwirtschaft in den jung- bis endneolithischen Feuchtbodensiedlungen im nord-westlichen Alpenvorland entwickelt. Dieses ist in Tab. 35 dargestellt. Das Modell berechnet für fünf verschiedenen Annahmen zur Ökonomie der Siedlungen (OES\_1-OES\_5, siehe Kap.8.2.5) und sechs verschiedene Landschaftsszenarien (LDS\_1-LDS\_6) mit einem unterschiedlichen Grad der Kulturlandschaftsentwicklung (siehe Kap. 8.2.2) den resultierenden Flächenbedarf *eines* Modellhauses, der für die Deckung des Kalorienbedarfs, des Bau- und Brennholzbedarfs sowie für die Viehweide erforderlich ist. Zusätzlich werden aus diesen Werten zwei weitere Kategorien berechnet: dies sind „Nahfeld“ und „Fernfeld“.

Erstere ist definiert als die Summe von Feldflächen bei permanenten Anbauverfahren und dem höheren der Werte des Flächenbedarfs für Bauholz bzw. für Brennholz. Diese Zuordnung ist wie folgt begründet: Diese Aktivitäten haben einen relativ geringen Flächenbedarf; die Feldflächen mussten häufig besucht werden und erforderten zu manchen Zeiten auch den Schutz gegen Wildschäden, weswegen sie vermutlich möglichst in Siedlungsnähe lokalisiert waren (was nicht für die Brandfeldflächen gilt); Bauholz- und Brennholz ist schwer und wurde vermutlich nur ungern über weite Entfernungen transportiert, weswegen die siedlungsnahen Vorkommen sehr wahrscheinlich vor weiter entfernten ausgeschöpft wurden.

„Fernfeld“ ist definiert als die Summe aus dem größten Wert der drei Kategorien Waldweide, Sammeln von Wildpflanzen und Brachflächen plus der Fläche für den Fischfang. Wegen der großen Spanne zwischen maximalen und minimalen Wert wurde die Flächen für die (Wald-) Weide nicht zum „Nahfeld“ dazu gezählt. Zudem ist es möglich, dass die Tiere nicht in größtmöglicher Siedlungsnähe gehalten wurden, sondern möglicherweise sogar eine gewisse Entfernung vom „Nahfeld“ angestrebt wurde, um den negativen Einfluss der Beweidung auf die Ressourcenverfügbarkeit zu verringern. Der degradierende Einfluss der Beweidung auf die Ressourcenverfügbarkeit wurde hier wie in Tab. 26 dargestellt integriert.

Auch das Sammeln von Wildpflanzen wurde nicht als Aktivität des „Nahfeldes“ definiert, weil auch hier recht große Unterschiede zwischen den Landschaftsszenarien im jeweiligen Flächenbedarf erkennbar sind, die sich aus unterschiedlichen Wertigkeiten der Landschaftselemente für das Sammeln ergeben. Die Fläche für die Jagd bildet eine eigene Kategorie, weil sie sich durch ihren hohen Flächenbedarf deutlich von den anderen Kategorien unterscheidet. Bei allen Werten wurden die Annahmen für nicht-nachhaltige Ressourcennutzung verwendet (siehe Tab. 23). Die Verwendung dieses technischen Begriffs soll hier nicht allzu wörtlich genommen werden, sondern als Maßangabe für die Nutzungsintensität der Ressourcen einer Landschaft dienen, die dementsprechend für das Modell als eher hoch angenommen wurde – somit handelt es sich bei den berechneten Flächen eher um minimale als um maximale Werte.

Tab. 35: Mit WELASSIMO\_Fläche simuliertes Modell des Flächenbedarfs eines Modellhauses für ausgewählte wirtschaftliche Aktivitäten mit 6 Bewohnern für eine Siedlungsdauer von 15 Jahren unter Annahme von 30 verschiedenen Kombinationen von Landschafts- und ökonomischen Szenarien (siehe dazu Tab. 19 und Tab. 21). Alle Angaben in ha. Die Werte in den Spalten Feldfläche und Fischfang sind eingangs gewählte Modellparameter, die übrigen Spalten Ergebnisse der Simulation

LDS	OES	Feld- fläche	Brach- fläche	(Wald-) Weide	Sam- meln	Fisch- fang	Brenn- holz	Bau		Nah- feld	Fern- feld
								- holz	Jagd		
1	1b	0,6	0	21,7	10,1	3	2,8	1,1	113	3	25
	2b	1	0	5,2	12,4	3	2,7	1,1	137	4	15
	3b	0,4	16	2,3	8,3	3	3,1	1,4	148	4	50
	4b	0,4	24	1,9	6,5	3	3,3	1,2	140	4	87
	5b	1	0	10,1	9,2	3	2,8	0,9	142	4	13
2	1b	0,6	0	17,6	6,3	3	2,8	1,1	106	3	21
	2b	1	0	4,3	8,1	3	2,8	1,1	124	4	11
	3b	0,4	14	2,5	6,5	3	3,5	1,3	172	4	38
	4b	0,4	24	1,2	6,2	3	3,8	1,6	144	4	58
	5b	1	0	8,3	8,9	3	2,7	1,0	130	4	12
3	1b	0,6	0	13,8	5,3	3	3,0	1,0	121	4	17
	2b	1	0	3,3	4,0	3	2,6	0,6	104	4	7
	3b	0,4	16	1,4	6,1	3	5,7	1,3	172	6	30
	4b	0,4	24	1,4	3,5	3	4,0	1,3	127	4	46
	5b	1	0	7,2	6,0	3	3,0	0,9	126	4	10
4	1b	0,6	0	13,4	5,9	3	3,0	1,3	105	4	16
	2b	1	0	3,2	5,7	3	2,8	1,4	123	4	9
	3b	0,4	14	1,3	5,3	3	4,2	2,0	162	5	33
	4b	0,4	24	1,8	4,9	3	3,1	2,0	129	4	49
	5b	1	0	6,9	6,8	3	2,9	1,4	161	4	10
5	1b	0,6	0	12,4	4,9	3	5,2	1,5	101	6	15
	2b	1	0	3,1	3,6	3	3,5	1,2	102	4	7
	3b	0,4	16	1,7	4,9	3	6,6	2,1	170	7	34
	4b	0,4	24	1,6	3,5	3	4,4	1,7	129	5	49
	5b	1	0	6,0	4,9	3	2,7	1,7	137	4	9
6	1b	0,6	0	9,4	3,8	3,0	4,9	1,6	119	5	12
	2b	1	0	2,0	4,5	3,0	3,1	0,6	115	4	8
	3b	0,4	16	1,2	4,7	3,0	10,8	3,1	173	11	31
	4b	0,4	24	1,2	3,4	3,0	7,1	2,3	114	7	48
	5b	1	0	4,5	6,5	3,0	5,8	2,1	150	7	10

Die Werte in der Spalte „Feldfläche“ geben die absolute jährliche Anbaufläche an. Der Wert in der Spalte „Brachfläche“ ist gleich derjenigen Waldfläche, die im Verlauf von 15 Jahren für den Anbau von Getreide sowie die Gewinnung des Holzes für den Brand eingeschlagen wird. Die Voraussetzung, um Brandfeldbau auf einer Fläche durchführen zu können, ist in diesem Modell das Vorhandensein entweder eines jungen Primärwaldbestand mit einem Alter von unter 70 Jahren oder eines Sekundärwaldbestandes, der je nach Ausprägung des Verfahrens mindestens 8 oder 15 Jahre alt sein muss. Unter der eher unrealistischen Annahme, dass solche Waldbestände ein Gebiet zu 100% bedecken, würde die gesamte Fläche für den Brandfeldbau dem in der Spalte „Brachfläche“ angegebenen Wert entsprechen. In den Landschaftsszenarien wird aber immer von einem Mosaik aus verschiedenen

Landschaftselementen ausgegangen, die zum Teil nicht für das Brandverfahren geeignet sind. Aus diesem Grund ist die gesamte Ausdehnung der Flächen, die für die Brandverfahren genutzt werden, nochmals höher als die Summe aus den Spalten Feldfläche und Brachfläche und entspricht dem letzten Wert in den Zeilen OES\_3b und OES\_4b (in der Spalte „Fernfeld“).

Die Fläche zur Gewinnung der 3% Kalorien aus Fischfang wurde gemäß Kap. 8.2.8 mit 3 ha für mesotrophe Seen berechnet. Besonders für die großen Alpenrandseen müssen jedoch eher oligotrophe Bedingungen angenommen werden (von lokaler Eutrophierung abgesehen); daher muss bei solchen Bedingungen eher noch mit höheren Werten gerechnet werden (siehe Kap. 8.2.8). Die Flächen für das Sammeln von Wildpflanzen und die Jagd ergeben sich aus dem mittleren Bedarf, den diese Nahrungskategorien im Verlauf der Simulationsdauer von 15 Jahren unter den beschriebenen Szenariokombinationen eingenommen haben.

Der Flächenbedarf für das Sammeln von Wildpflanzen beträgt maximal 12,4 ha und sinkt mit steigendem Anteil an diesbezüglich höherwertigen Landschaftselementen auf ein Minimum von 3,2 ha. Die weite Spanne ist durch die Annahme von unterschiedlich hoher Verfügbarkeit von Haselnüssen in den verschiedenen Landschaftselementen erklärbar. Deren Verfügbarkeit stellt wegen ihres sehr hohen Kaloriengehaltes, ihrer hohen Lagerfähigkeit und der u.U. hohen Dichte der Bestände den bedeutendsten Faktor für die Wertigkeit von Flächen zum Sammeln von Wildpflanzen dar (wobei hier immer der kalorische Ertrag im Vordergrund steht; andere Eigenschaften der Sammelpflanzen, wie beispielsweise eine medizinische Bedeutung, spielen hier keine Rolle). Die geringsten Flächen werden hier immer in OES\_4b benötigt, weil mit dem 15-jährigen Zyklus des Brandfeldbaus eine hohe entsprechende Wertigkeit der Flächen einhergeht.

Für die Deckung der Kalorien aus der Jagd sind 101-173 ha erforderlich, was einem simulierten mittleren Wildfleischanteil an der Ernährung von 10-17% entspricht. Diese Werte liegen in allen Landschaften auf ähnlichem Niveau, jedoch werden die höchsten Werte immer in OES\_3b benötigt. Dies ist durch die – wegen der geringen Feldfläche und dem Verfahren „Brandfeldbau mit Buschbrache“ anstelle von Waldbrache – geringsten absoluten Jahreserträge bedingt, die eine höhere Pufferung durch Jagd und Sammelpflanzen erfordern, und ist damit also keine Folge des Verfahrens an sich, sondern der Parameter der Simulation. Die Zuverlässigkeit dieser Flächenangaben ist vermutlich nicht so hoch wie die für die übrigen Aktivitäten.

Die Datengrundlagen, die der Berechnung des Jagderfolges pro ha zugrunde liegen (siehe Kap.8.2.8) sind sicherlich glaubwürdig, stellen jedoch über sehr weite Bereiche gemittelte Angaben dar. Lokale und auch regionale Unterschiede im Wildvorkommen können hier daher nicht abgebildet werden, waren jedoch sehr wahrscheinlich ein bedeutender Faktor auf lokaler Ebene. Der Flächenbedarf für die Waldweide ergibt sich aus der Anzahl Rinder, die in den Szenarien angenommen werden, sowie dem Futterangebots der Landschaft. Dementsprechend liegt er mit 21,7 ha in LDS\_1 OES\_1b mit Annahme von vier Rindern, die sich im Primärwald ihr Futter suchen müssen, am höchsten und in LDS\_6 OES\_4b mit Annahme von 0,5 Rindern und einem hohen Offenlandanteil am geringsten.

Für die Brennholzgewinnung sind 2,8 bis 10,8 ha erforderlich. Die geringsten Flächen werden bei geschlossener Primärwaldbedeckung in LDS\_1 benötigt, die höchsten bei Annahme von Brandverfahren in einer Landschaft mit ohnehin hohem Offenlandanteil – hier zeigt sich ein genereller Nutzungskonflikt, weil für die Brandverfahren ja auch potenzielles Brennholz verbrannt wird. Dies wirkt sich auch auf den Flächenbedarf für die Bauholzgewinnung aus, der bei Annahme von vier Hausgenerationen (=Neubauten) zwischen 0,6 und 3,1 ha schwankt (bei Annahme von nur einer Hausgeneration muss dieser Wert dementsprechend durch vier geteilt werden). Auch hier werden die jeweils höchsten Werte innerhalb eines Landschaftsszenarios durch eines der Brandverfahren bewirkt.

#### 8.4.2 Kommentar zur Gültigkeit des Modells

Die Daten sind, wie schon oben angedeutet, aus der Simulation nur eines Hauses abgeleitet. Dies hat den Hintergrund, dass eine höhere Anzahl Häuser bei der hohen Zahl an erforderlichen Simulationen einen sehr hohen Zeitbedarf erfordert hätte. Bei der Erstellung wurde jedoch nicht vorausgesehen, dass dies durchaus einen Unterschied bezüglich der Errechnung des Flächenbedarfs machen kann. Besonders für die Aktivitäten, die nur einen geringen gesamten Flächenbedarf haben, kann bei nur einem Haus die in jedem Durchlauf neue, randomisierte Erstellung des Landschaftsmosaiks dazu führen, dass in Siedlungsnähe ein Landschaftstyp mit sehr geringen Ressourcenverfügbarkeiten platziert wird – wodurch sich dann ein insgesamt höherer Flächenbedarf ergibt, als wenn mehr Häuser die gleiche Tätigkeit durchführen und dann gemittelt wird. Daher müssen diese hier diskutierten Werte noch mit Vorsicht behandelt werden, bis eine erneute Simulation mit mehr Häusern durchgeführt wurde. Daher eignen sich die Angaben zu diesem Zeitpunkt auch nur eingeschränkt für eine bewertende Aussage über die Anbauverfahren, sondern sind eher als Beispiele für mögliche realisierte Bedingungen zu verstehen. Eine abschließende Diskussion und Bewertung des Modells erfolgt in Kap. 10.3.

#### 8.5 Fazit zur Simulation des Flächenbedarfs mit WELASSIMO\_FLÄCHE

In Kapitel 8 wurde ein Modell des Flächenbedarfs für wichtige landschaftsprägende ökonomische Aktivitäten eines Modellhauses in den jung- bis endneolithischen Feuchtbodensiedlungen entwickelt. Für diesen Zweck wurde eine agentenbasierte Computersimulation der Landnutzungsprozesse programmiert (WELASSIMO\_fläche), welche Ergebnisse aus der Simulation von Getreideerträgen mit MONICA (Kap. 6) und dem Simulationsmodell WELASSIMO\_feldbau (Kap. 7) integriert. Um den Ressourcenbedarf eines Modellhauses und das Ressourcenangebot verschiedener Landschaften zu berechnen, wurde eine entsprechende Datenbasis auf Grundlage einer Literaturrecherche vorgelegt. Das Modell quantifiziert den Flächenbedarf für unterschiedliche Kombinationen ökonomischer und landschaftlicher Szenarien. So können die Auswirkungen verschiedener Hypothesen zu Anbauverfahren, Anzahl gehaltener Rinder und Bedeutung einzelner Nahrungselemente benannt werden. Die Berechnungen beziehen sich auf unterschiedliche Grade der Kulturlandschaftsentwicklung, deren Ausprägung sich zwischen geschlossenem Primärwald auf der einen Seite und einer stark anthropogen überprägten Vegetationsdecke andererseits bewegt. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass in dem hier vorgestellten Modell drei Kategorien der Nutzungsintensität definiert wurden, deren Flächenbedarf in den letzten drei Spalten von Tab. 35 dargestellt ist: Ein intensiver genutztes Nahfeld von 3-7 (11) ha, ein weniger intensiv genutztes Fernfeld von 7-58 (87) ha sowie ein nur durch die jagdliche Nutzung geprägtes Gebiet von 101-172 ha.

### 9 Fallstudie: die Anwendung von WELASSIMO\_fläche auf das Untersuchungsgebiet Zürichsee (ZÜRISSIMO)

In dieser Fallstudie wird das Modell WELASSIMO\_fläche auf eine Untersuchungsregion angewendet, welche die Seen Zürichsee, Greifensee und Pfäffikersee umfasst. Der Untersuchungszeitraum umfasst die Periode 4000-2400 v. Chr. und ist damit relevant für Siedlungen der Kulturen Cortaillod, Pfyn, Horgen und Schnurkeramik. Eine Übersicht über das Untersuchungsgebiet ist in Abb. 49 dargestellt. In Tab. 36 sind die Namen der Fundstellen mit Nummerncodes in Abb. 49 verknüpft.

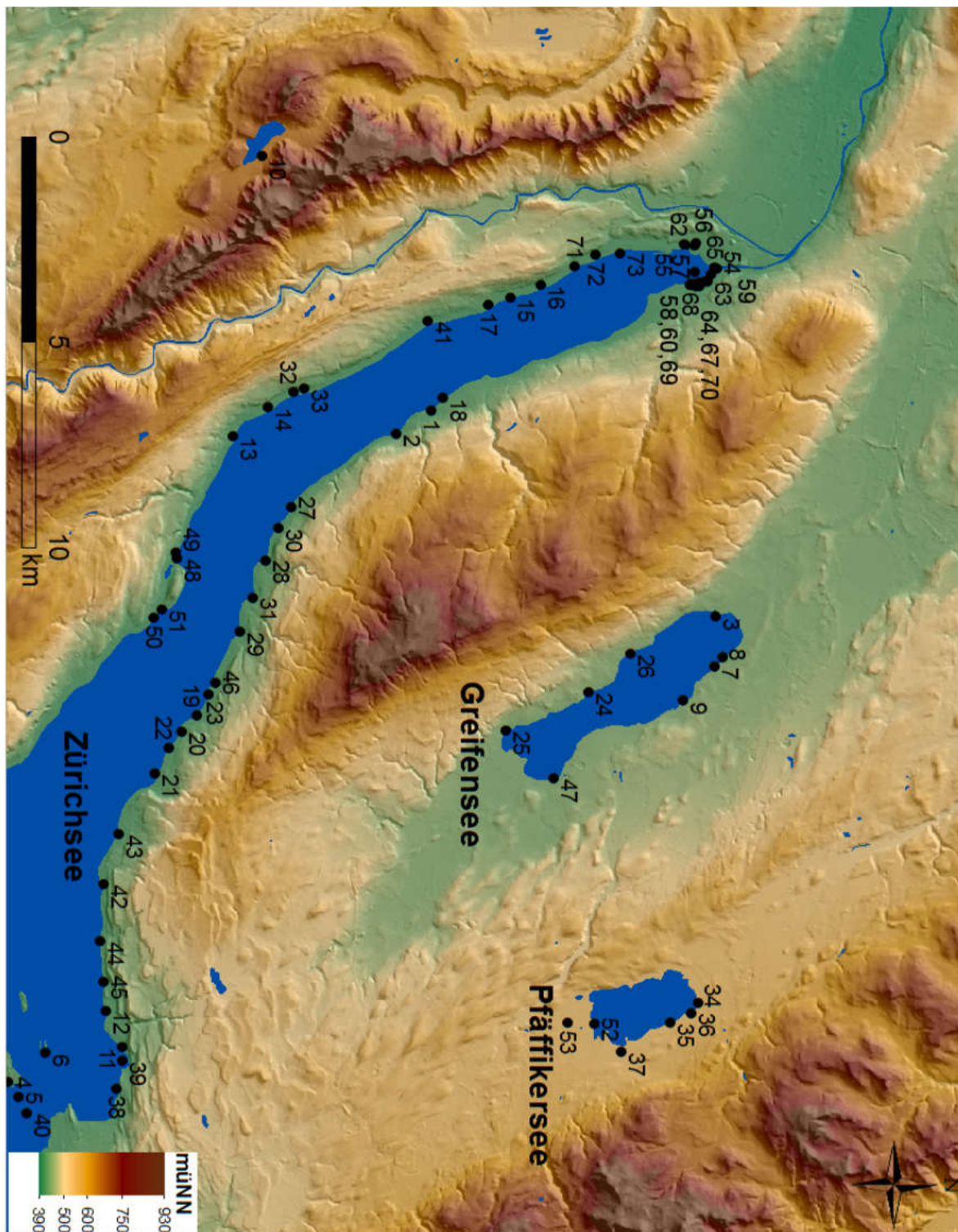


Abb. 49: Untersuchungsgebiet der Fallstudie „Zürichseegebiet“ und dokumentierte jung- bis endneolithische Siedlungsplätze mit Feuchtbodenerhaltung. Siehe Tab. 36

Tab. 36: Jung- bis endneolithische Siedlungsplätze mit Feuchtbodenerhaltung im Untersuchungsgebiet „Zürichsee“ zur Erläuterung der in Abb. 49

Siedlungsplatz	Nummer	Siedlungsplatz (fortgesetzt)	Nummer
Erlenbach Widen	1	Rapperswil-Jona Seegubel	38
Erlenbach Winkel	2	Rapperswil-Jona, Feldbach Ost	39
Fällanden Rietspitz	3	Rapperswil-Jona, Untiefe Ost	40
Freienbach Hurden Kapelle	4	Rüschlikon Rörli	41
Freienbach Hurden Untiefe West	5	Stäfa Kehlhof	42
Freienbach Lützelau	6	Stäfa Lanzelen	43
Greifensee Furen	7	Stäfa Uerikon Im Länder / Hechthaab	44
Greifensee Starkstromkabel	8	Stäfa Uerikon Villa Steinfels	45
Greifensee Wildsberg, Storen	9	Uetikon Schiffflände (Langenbaum)	46
Hausen a.A., Türlerse	10	Uster Riedikon Hütten	47
Hombrechtikon Feldbach	11	Wädenswil Hinter Au	48
Hombrechtikon Rosenberg	12	Wädenswil Naglikon	49
Horgen Dampfschiffsteg, Bootshaab	13	Wädenswil Scheller	50
Horgen Scheller	14	Wädenswil Vorder Au	51
Kilchberg Bendlikon	15	Wetzikon Himmerich	52
Kilchberg Mönchhof	16	Wetzikon Robenhausen	53
Kilchberg Schooren	17	Zürich Bauschanze	54
Küsnacht Hörnli	18	Zürich Breiteringerstrasse / Mythenschloss	55
Männedorf Langacher (Schützenhaab)	19	Zürich Breiteringerstrasse	56
Männedorf Leuenhaab	20	Zürich Grosser Hafner	57
Männedorf Strandbad, Ziegelhüttenhaab	21	Zürich KanSan Seefeld	58
Männedorf Surenbach (Pfruenderhaab)	22	Zürich Kleiner Hafner	59
Männedorf Weieren	23	Zürich Kreuzstr. 5 /Utoquai	60
Maur Schiffflände	24	Zürich Mozartstrasse	61
Maur Uessikon, Letzi	25	Zürich Mythenschloss	62
Maur Weierwis	26	Zürich Opera	63
Meilen Feldmeilen Vorderfeld	27	Zürich Pressehaus AKAD	64
Meilen Im Grund	28	Zürich Quaibrücke	65
Meilen Obermeilen Rohrenhaab	29	Zürich Rentenanstalt	66
Meilen Plätzli	30	Zürich Seehofstrasse	67
Meilen Schellen	31	Zürich Utoquai Färberstrasse	68
Oberrieden Riet	32	Zürich Utoquai Panorama	69
Oberrieden Seegarten, Strandbad	33	Zürich Utoquai Seewarte	70
Pfäffikon Burg	34	Zürich Wollishofen Horn	71
Pfäffikon Irgenhausen	35	Zürich Wollishofen Strandbad	72
Pfäffikon Riet	36	Zürich Wollishofen, Haumesser	73
Pfäffikon, Unter Riet	37		



## 9.1 Hintergrund

Das Gebiet der drei Seen Zürichsee, Greifensee und Pfäffikersee eignet sich in besonderer Weise, um die Auswirkungen verschiedener Szenarien der jung- bis endneolithischen Subsistenzwirtschaft auf den Flächenbedarf der Siedlungen und die Landschaftsentwicklung anhand des Modells WELASSIMO\_fläche zu untersuchen. Um das Modell differenzieren zu können, verwende ich dafür das Akronym ZÜRISIMO (ZÜRichsee Settlement SIMulatOr). Zum einen ist die archäologische Datenbasis mit Bezug auf die Ufersiedlungen besonders im Zürichsee, aber auch in Greifen- und Pfäffikersee außerordentlich gut (z.B. Ebersbach 2010a S. 21). Bereits seit 1963 wurden die feuchtbodenarchäologischen Fundstellen zunächst durch die Tauchgruppe „Turi-Sub“, später im Rahmen einer professionellen Tauchequipe unter Leitung von Ulrich Ruoff und seinen Nachfolgern untersucht (Ruoff 1995, 1981). Im Jahre 1996 wurde das Projekt „Kurzinventarisierung der Zürcher Seeufersiedlungen“ durchgeführt. Ziel dieser mehrmonatigen Aktion war die Inventarisierung aller Zürcher Seeufersiedlungen (Hochbauamt der Stadt Zürich 1996; siehe auch Bolliger 2015 S. 5).

Zwar wurden aus der Stadt Zürich nach der Publikation der Fundstelle „Kleiner Hafner“ (Suter 1987) während vieler Jahre keine vollständigen Auswertungen großer Grabung mehr publiziert; diese Situation hat sich mit der Vorlage der Ergebnisse der Grabungen Opera (Bleicher und Harb 2015; Harb und Bleicher 2016) und den Auswertungen der Befunde der Grabungen Mozartstrasse (Ebersbach et al. 2015) erfreulicherweise wieder geändert. Die archäologischen Daten der Siedlungen im Untersuchungsgebiet wurden durch Ebersbach (2010a, insbes. S. 8 ff.) im Kontext einer räumlich und thematisch noch wesentlich umfangreicheren archäologischen Datenbank aufgearbeitet und vorgelegt. Den Grundstock dieser Datenbank legte Edi Gross-Klee mit seiner tabellarischen Zusammenstellung der neolithischen Fundstellen für die Publikation von Stöckli et al. (1996). Durch die standardisierten Eintragungen von georeferenzierten Siedlungsstellen sind diese Daten auch für die Bearbeitung in einem geografischen Informationssystem verfügbar. Durch die in vielen Fällen dendrochronologisch präzise datierte Belegdauer der Siedlungen werden fundierte Untersuchungen der Besiedlungsdynamik möglich (z.B. Ebersbach 2010a, bes. 99 ff.; Ebersbach 2010b).

Zum zweiten liegen über die physisch-geografische (Paläo-) Umwelt sowie über den Einfluss des Menschen darauf vielfältige Daten vor. Die Analysen zu Ökologie und Ökonomie der Siedlungen insbesondere am nördlichen Ende des Zürichsees gehören vermutlich weit über die Schweiz hinaus zu den umfangreichsten ihrer Art. Die archäobotanischen und archäozoologischen Untersuchungen in den Siedlungen sind umfassend ausgewertet und synthetisch publiziert worden (besonders Jacomet et al. 1989, Schibler et al. 1997) und haben bereits früh als Vorlage zur Entwicklung von Modellen zur Nahrungszusammensetzung der Bewohner der Feuchtbodensiedlungen geführt (Gross et al. 1990; Ebersbach 2003). Im Rahmen der Ausgrabung Opera konnten jüngst neue Erkenntnisse dazu vorgelegt werden (Bleicher und Harb. 2017; Antolin et al. 2016a). Pollenanalytische Untersuchungen erlauben Einblicke in den Einfluss des Menschen auf Vegetationsentwicklung auf räumlich größerer Skala (Erny-Rodmann 1996; Heitz-Weniger 1978, 1977; Hufschmid 1983). Geodatensätze zur Erstellung geografischer Informationssysteme als Grundlage für die räumlich explizite Simulation von Besiedlungsdynamik liegen in Form eines digitalen Geländemodells (DTM-AV © 2003 Swisstopo (DV033638)) und der digitalen Bodeneignungskarte der Schweiz (Pazeller 2000) vor.

## 9.2 Fragestellungen

Das Ziel der hier vorgelegten Untersuchung ist die Darstellung des Flächenbedarfs für die Landnutzung der dokumentierten Siedlungen mit Feuchtbodenerhaltung in der Zürichseeregion (siehe Abb. 49) während ausgewählter Zeitscheiben des Jung- bis Endneolithikums. Die wesentlichen Fragen hierfür lauten:

- 1) Wie groß waren die durch menschliche Landnutzung überprägten Flächen?
- 2) Welchen Anteil hatten die verschiedenen Landnutzungsaktivitäten an der gesamten genutzten Fläche?
- 3) Sind alle Anbauverfahren unter verschiedenen Szenarien vorstellbar, oder liegen allein aufgrund der räumlichen Ausdehnung Limitierungen vor?
- 4) Kann insbesondere die für den Feldbau zu Verfügung stehende Fläche als limitierender Faktor für das System angesehen werden?
- 5)

## 9.3 Methode

ZÜRISSIMO baut auf dem Modell WELASSIMO\_fläche auf; die Simulation ist ebenfalls in NETLOGO erstellt. Drei verschiedene Datensätze werden verwendet, um den Flächenbedarf für die neolithische Landnutzung in der Zürichseeregion zu simulieren: 1) eine Rasterkarte der Zürichseeregion mit einer Auflösung von 100 m, in deren Zellen verschiedene Umwelteigenschaften gespeichert sind; 2) der in Kap. 8 ermittelte Flächenbedarf für ökonomische Aktivitäten neolithischer Bewohner der Feuchtbodensiedlungen in definierten Landschaften (Tab. 35); 3) ein modifizierter Siedlungsdatensatz der Seeufersiedlungen in der Zürichseeregion zwischen 4000-2400 v. Chr., der auf dem oben genannten Datensatz von Ebersbach (2010a, S. 8 ff.) aufbaut. Für die Untersuchung mit ZÜRISSIMO wurden eigene Szenarien ZÜS\_1a bis ZÜS\_5b definiert (siehe Tab. 37), welche die Ergebnisse aus Kap. 8 integrieren und sich durch die zugrunde gelegte Landschaft, die angenommenen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und den Flächenbedarf unterscheiden, der in den Szenarien für jeweils ein Haus angegeben ist. Diese Angaben geben also den Flächenbedarf für ökonomische Aktivitäten in genau definierten Landschaftselementen pro Haus an. Im Modell ZÜRISSIMO werden die drei Datensätze auf solche Weise gemeinsam verwendet, dass in Jahresschritten diejenigen Siedlungen, die gemäß dem modifizierten Datensatz in dem jeweiligen Jahr belegt sind, mit der entsprechenden Anzahl an Häusern „aktiv“ sind und Landnutzung betreiben. Dafür beanspruchen sie eine bestimmte Fläche, deren Ausdehnung sich aus der Multiplikation des Wertes aus Tab. 37 mit der jeweiligen Anzahl Häuser in der Siedlung ergibt. Dieser Flächenbedarf wird nach bestimmten Kriterien in Gebieten mit entsprechender Eignung gedeckt (s.u.). Somit entstehen Karten, welche die Ausdehnung der menschlichen Landnutzung um die Seeufersiedlungen in der Zürichseeregion für bestimmte ökonomische und landschaftliche Szenarien abbilden.

### 9.3.1 Die Erstellung der Rasterkarte für ZÜRISSIMO

Zur Beantwortung der oben genannten Fragen wird das unter Kapitel 8 beschriebene Modell „WELASSIMO\_fläche“ an das Untersuchungsgebiet (siehe dazu Abb. 49) angepasst. Das Untersuchungsgebiet umfasst eine Fläche von 30.200 x 23.500 m, die in 70970 Zellen von je 100x100 m unterteilt ist. Die Verwendung der Auflösung von einem Hektar, die im Vergleich zur bisher verwendeten Flächengröße von einem sechzehntel Hektar in den Modellen WELASSIMO\_feldbau und WELASSIMO\_fläche eher gering ist, ist durch die schiere Größe des Untersuchungsgebietes bedingt. Die Durchführung der Simulationen auf einer Anzahl Zellen, die aus einer Zellgröße von einem sechzehntel Hektar resul-

tieren würde, überfordert die Rechnerkapazität eines guten Standardlaptops. Die Werte in Tab. 35 sind bewusst in Hektar angegeben und ermöglichen so die Verwendung dieser Auflösung.

Die physisch-geografischen Eigenschaften jeder Zelle sind durch die folgenden feststehenden Attribute beschrieben: Höhenlage, Hangneigung, Nutzungseignung und Land/Wasser. Die Höhenlage sowie die Hangneigung wurden unter Verwendung des digitalen Höhenmodells (DTM-AV © 2003 Swisstopo (DV033638)) in einem GIS für die Verwendung in NETLOGO aufgearbeitet. Pro Zelle wird jeweils ein über den gesamten Hektar gemittelter Wert vergeben, wobei die Meereshöhe (die im Untersuchungsgebiet zwischen 390 und 928 müNN liegt) in 32 Klassen von je 17 m, die Hangneigung in 6 Klassen von < 5°, < 10°, < 15°, < 20°, < 25°, < 35° und > 35° unterteilt ist. Die Verteilung Land/Wasser wurde unter Verwendung des Gewässerdatensatzes der Schweiz (Datensatz der Fließgewässer, © Swisstopo) erstellt.

Bezüglich der Nutzungseignung wurde wegen des geringen Maßstabes der Untersuchung entschieden, auf eine detaillierte Rekonstruktion der Bodenverhältnisse zu verzichten. Diese wäre für das gesamte Untersuchungsgebiet von ZÜRISIMO mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Darüber hinaus liegt mit der digitalen Bodeneignungskarte der Schweiz im Maßstab 1:200.000 (Pazeller 2000) ein sehr präzise dokumentierter, verlässlicher und leicht zu handhabender Datensatz vor. Darin ist die heutige landwirtschaftliche Eignung der Flächen dargestellt, die unter Berücksichtigung der 6 Bodeneigenschaften Gründigkeit, Skelettgehalt, Wasserspeichervermögen, Nährstoffspeichervermögen, Wasserdurchlässigkeit und Vernässung eruiert wurde. Daraus wurden 18 Klassen gebildet, die für den hier besonders relevanten Faktor Ackerbau/Getreidebau unterschiedliche Eignungen aufweisen. Ich habe diejenigen Klassen, welche für die besagte Nutzungseignung einen Wert von gut oder sehr gut (+ oder ++) haben, als geeignet für den gartenähnlichen Feldbau klassifiziert, und zusätzlich diejenigen Flächen als für die Brandverfahren geeignet definiert, die in dem Datensatz mäßig geeignet (+/-) für den Ackerbau/Getreidebau eingestuft wurden.

Wenn auch keine Informationen über die hydrologischen Bedingungen im Untersuchungsgebiet während des Neolithikums vorliegen, so können doch durch die Verwendung der „Wildkarte“ des Kantons Zürich (Wild 1850) die Lage und Ausdehnung von Feuchtgebieten vor der umfassenden anthropogen bedingten Trockenlegung erfasst werden. Die so ermittelten Flächen werden in der Modelllandschaft als für den Feldbau ungeeignet behandelt. Diese Analysen wurden ebenfalls in einem GIS durchgeführt und in die Rasterkarte integriert. Eine Schwierigkeit bestand besonders in dem recht hohen Anteil von Flächen, welche die Klassifikation „Siedlungsgebiet“ besitzen und deren Nutzungseignung daher nicht näher beschrieben ist. Hier wurde aus Mangel an Information das flächenmässig größte, direkt angrenzende Polygon als maßgebend erachtet.

Lediglich in der unmittelbaren Umgebung der Siedlungen am nördlichen Zürichseeausfluss konnte auf frühere Arbeiten von Jacomet et al. (1989 S. 18) zur Lage der feldbaueigneten Böden zurückgegriffen werden, so dass dieses Gebiet mit einiger Genauigkeit repräsentiert ist – einschränkend muss jedoch mit Bezug auf das gesamte Untersuchungsgebiet hinzugefügt werden, dass der kleine Maßstab eine detaillierte Rekonstruktion der Verhältnisse nicht zulässt. Für zukünftige Arbeiten mit höherer Auflösung ist eine solche Rekonstruktion jedoch wünschenswert. Die Nutzungseignung für die übrigen wirtschaftlichen Aktivitäten ist im Modell nicht durch die Bodeneigenschaften, sondern durch topographische Kriterien definiert (siehe Kap. 9.3.4).

### 9.3.2 Die Modifikation des Siedlungsdatensatzes

In der verwendeten Siedlungsdatenbank sind in der Untersuchungsregion zwischen 4000 und 2400 v. Chr. insgesamt 268 Datensätze aus 67 Lokalitäten vermerkt, welche in die Kategorie „Feuchtbodensiedlung“ fallen. Davon sind 138 dendrochronologisch datiert, 118 typologisch datiert, und 12 sind lediglich stratigraphisch datiert. In 23 Siedlungen konnte Ebersbach (2010a) Berechnungen zu der absoluten Anzahl Häuser durchführen; diese liegt zwischen 10 Häusern in der schnurkeramischen Siedlung Hombrechtikon Feldbach-West und 278 Häusern in der ebenfalls schnurkeramischen Siedlung Zürich Breitingerstrasse\_1u / Mythenschloss 2.2-2.4.

Um die Datenbank in optimaler Weise nutzen zu können, wurde nach einem Weg gesucht, auch diejenigen Siedlungen, welche entweder nicht durch dendrochronologische Messungen exakt datiert werden konnten oder für welche keine fundierten Annahmen zur Siedlungsgröße möglich sind, in die Simulation zu integrieren. Ich habe mich dazu entschieden, den Siedlungen ohne definiertes Anfangs- oder Enddatum ein solches zufällig zuzuweisen, und zwar unter Verwendung des jeweils engsten Datierungszeitraumes, der in der Datenbank angegeben ist. Die entsprechenden Kategorien dort lauten wie folgt (mit zunehmender Datierungsgenauigkeit): Grobchronologie (z.B. Jungneolithikum), Kultur (z.B. Horgen) Vierteljahrtausend (z.B. 3750-3500 v. Chr.), Achteljahrtausend (3500-3375 v. Chr.), Zweiunddreißigsteljahrtausend (z.B. 3438-3406 v. Chr.), Datierungsanfang/Datierungsende (z.B. 3712 v. Chr.). Innerhalb des Zeitraumes mit der jeweils höchsten Datierungsgenauigkeit wurde ein zufälliges Anfangsdatum vergeben. Das Enddatum wurde gemäß der von Ebersbach (2010a, S. 99 ff.) ermittelten mittleren Laufzeit der Siedlungen in der jeweiligen Kulturgruppe vergeben. Auf gleiche Weise wurde für die Anzahl Häuser in Siedlungen ohne diesbezügliche Angaben verfahren: auch hier wurde ein Zufallswert innerhalb der von Ebersbach (2010a S. 83 ff.) für die jeweilige Kulturgruppe ermittelten statistischen Verteilung der Hauszahlen pro Siedlung vergeben.

Die Siedlungen, die in einer räumlichen Entfernung von < 100 m und somit unterhalb der hier verwendete Auflösung von 1 ha liegen, mussten zu einer Siedlungsstelle zusammengefasst werden (Abb. 50 und Abb. 51). Somit liegt für das Untersuchungsgebiet ein Datensatz aus 268 Siedlungen mit zugewiesenen Anfangs- und Enddaten und definierter Anzahl Häuser im Zeitraum zwischen 4000 und 2400 v. Chr. vor. Dieser ist natürlich mit dem Makel behaftet, Präzision anzudeuten, die aber tatsächlich nicht in dem Maße vorliegt. Dies wird meiner Meinung jedoch vertretbar, wenn auf diese Einschränkung klar verwiesen wird. Immerhin sind die Angaben zu Beginn und Ende der Siedlungen in mehr als der Hälfte der Fälle dendrochronologisch belegt, die Annahmen über die Laufzeit der Siedlungen durch eine hohe Zahl an Untersuchungen abgesichert, und die oberen und unteren Grenzen sowie Mittelwert und Median der Werteverteilung, aus der die Anzahl Häuser in den Siedlungen zufällig ermittelt wurde, beruht ebenfalls auf gut dokumentierten Befunden.

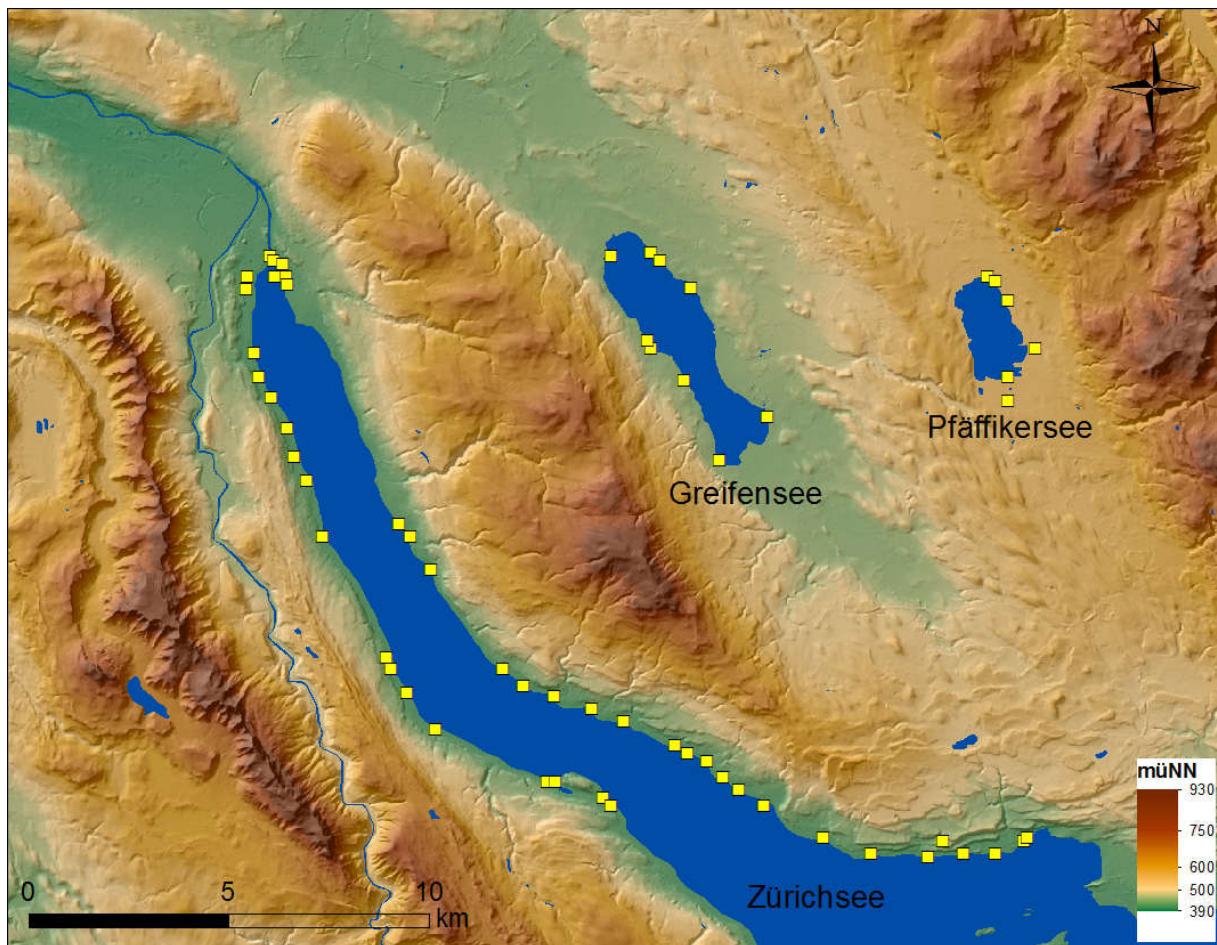


Abb. 50: Für die Fallstudie „Zürichseegebiet“ angepasster Datensatz der jung- bis endneolithischen Siedlungsplätze mit Feuchtbodenerhaltung (gelbe Quadrate)

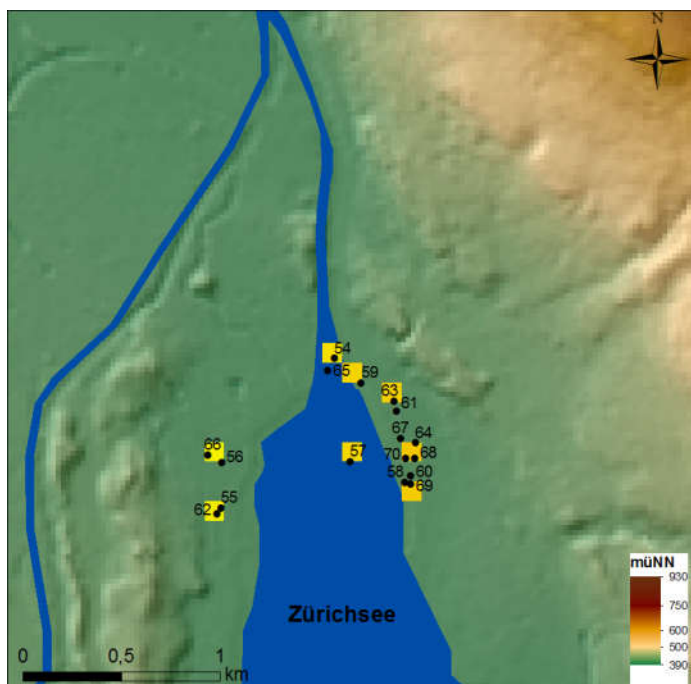


Abb. 51: Detail vom nördlichen Ende des Zürichsees zur Erläuterung des Verfahrens zur Anpassung des Datensatzes der Fundstellen (siehe Abb. 49, Abb. 50 und Tab. 36). Mehrere Fundstellen müssen zu einer Siedlungsstelle zusammengefasst werden, weil ihr räumlicher Abstand zu gering ist

### 9.3.3 Die Verwendung der Szenarien ZÜS\_1a bis ZÜS\_5b

Der Start der Simulation, also der Zeitpunkt  $t=0$ , entspricht dem Jahr 4000 v. Chr. Vor dem Beginn der Simulation muss eines der Szenarien ZÜS\_1a bis ZÜS\_5b gewählt werden (siehe Tab. 37). Diese wurden erstellt, um bestimmte Annahmen zu integrieren. Dabei beziehen sich die Szenarien einerseits auf bestimmte landschaftliche Szenarien, die in Tab. 22 und in Kap. 8.2.2 beschrieben wurden. Bei den Angaben zu den jeweiligen Flächenanteilen der einzelnen Landschaftselemente handelt es sich um reine Annahmen als Ausgangsbasis für die Simulationen mit WELASSIMO\_fläche, also nicht um Ergebnisse dieser Arbeit. Andererseits werden aber für die Definition der Szenarien die Ergebnisse der Flächenberechnung mit WELASSIMO\_fläche aus Kap. 8.3 (Tab. 35) verwendet, für welche die genannten Landschaftsszenarien die Grundlage darstellen. Es ist wichtig zu betonen, dass in dem Modell ZÜRISIMO keine Flächendegradation stattfindet. Die Implementierung solcher Prozesse des Ökosystems war wegen der geringen Auflösung und der großen Fläche nicht möglich. Stattdessen bleibt die Landschaft über die Dauer der Simulation statisch. In allen Szenarien wird die Ernährung auf gleiche Weise zusammengesetzt, wie bereits in Kap. 8.3.1 beschrieben: zum jährlich produzierten Getreide kommen als „Sockelbetrag“ 3% Fisch, 1-10% Haustierprodukte (Fleisch und evtl. Milch), 4% Wildtierfleisch und 6% Sammelpflanzen. Sollte dies zusammen nicht 100% entsprechen, wird der Fehlbetrag durch Jagen und Sammeln gedeckt. Diese Dynamik ist hier nicht mehr simuliert, liegt jedoch den Angaben der Flächenberechnung in Tab. 35 zugrunde.

Tab. 37: Kombinierte landschaftliche und ökonomische Szenarien zur Simulation des Flächenbedarfs mit ZÜRISIMO

Szenario	Variante	"Nachhaltigkeit"	Jagd:Sammeln	Anbau-verfahren	Düngung	Feldfläche/ Haus	Rinder/ Haus	Brachfläche	(Wald-) Weide	Sammeln	Jagd	Fischfang	Brennholz	Bauholz	basiert auf
ZÜS_1	a	-	1:1	GB	Ohne	1	1	0	5,2	12,4	137	6	2,8	1,5	LDS1/
	b	√	1:1	GB	Ohne	1	1	0	10,8	12,4	274	6	4,8	2,2	OES2b
ZÜS_2	a	-	1:1	GB	Ohne	1	1	0	4,25	6,4	124	6	2,8	1,12	LDS2/
	b	√	1:1	GB	Ohne	1	1	0	7,4	6,4	248	6	5,5	2,2	OES2b
ZÜS_3	a	-	4:6	BB	Brand	0,4	0,5	13	1,2	6,5	172	6	3,5	1,3	LDS2/
	b	-	4:6	BW	Brand	0,4	0,5	24	1,2	6,2	127	6	3,8	1,6	OES3b
ZÜS_4	a	-	4:6	GB	Ohne	1	1	0	3,2	5,7	123	6	2,8	1,4	LDS4/
	b	-	4:6	GB	Mit	0,6	2	0	6,3	6,5	140	6	2,8	1,4	OES2b
ZÜS_5	a	-	4:6	PB	Ohne	1	2	0	4,5	6,5	150	3	5,8	2,1	LDS6/
	b	-	4:6	PB	Mit	0,6	4	0	9,4	6,5	150	3	5,8	2,1	OES5b

#### 9.3.3.1 ZÜS\_1a und ZÜS\_1b

Die beiden Szenarien basieren auf der Annahme einer geschlossenen Waldlandschaft, in welcher die Siedler erstmals Landnutzungen betreiben; dies ist an das landschaftliche Szenario LS1 (siehe Tab. 22) angelehnt. In beiden sind die gleichen ökonomischen Annahmen verwendet, die auf dem ökonomischen Szenario OES\_2b beruhen (siehe Tab. 24): intensiver Gartenbau ohne Düngung, Anbaufläche von einem Hektar pro Haus, Haltung von einem Rind pro Haus. Die beiden Szenarien ZÜS\_1a und ZÜS\_1b unterscheiden sich in dem angenommenen Grad der Nachhaltigkeit, der die Menge der zu

entnehmenden Ressourcen bestimmt. Der Begriff ist hier (wie schon oben erwähnt) allerdings nicht in seiner modernen Bedeutung zu verstehen, sondern eher als relative Einordnung bezüglich der Menge der pro Flächen entnommenen Ressourcen. Der Flächenbedarf für die Ernährung des einen Rinds pro Haushalt liegt zwischen 5,2 und 10,8 ha. Die mittlere Fläche für das Sammeln von Wildpflanzen liegt bei 9,5 ha pro Haus (hier hat die Annahme von Nachhaltigkeit keine Auswirkung, weil ein intensiveres Sammeln keine Degradation der Ressource zur Folge hat).

Dagegen bewirkt die Annahme der Schonung der Wildtierbestände eine deutliche Vergrößerung des Flächenbedarfs für die Jagd von 137 auf 274 ha pro Haus. Wegen der Annahme von 3% Fischanteil an der Deckung des Jahreskalorienbedarfs und der Tatsache, dass die oligotrophen Bedingungen des Zürichsees vermutlich nur recht geringe Fischbestände ernährten, liegt der Flächenbedarf für den Fischfang hier (wie in allen weiteren zu beschreibenden Szenarien) bei 6 ha pro Haus. Der Flächenbedarf für die Brennholzgewinnung ist hier (bei Annahme von nicht-nachhaltiger Gewinnung, d.h. von Auf sammeln trockenen Holzes und zusätzlichem Fällen junger Bäume) geringer als in den folgenden Szenarien. Die Verfügbarkeit von geeignetem Bauholz ist im Primärwald als eher gering einzustufen (siehe Kap. 8.2.9.2); die Tatsache, dass der Flächenbedarf für die Bauholzversorgung in diesem Szenario dennoch nicht höher als in den übrigen Szenarien ist (bezogen auf eine Siedlungsdauer von 15 Jahren mit einer Lebensdauer der Häuser von 5 Jahre, also vier Phasen der Bauholzgewinnung), liegt in dem sukzessive abnehmenden Bewaldungsgrad mit steigenden Nummern der Szenarien begründet – dort sind dann zwar mehr Sekundärwaldflächen mit höheren Anteilen geeigneten Bauholzes vorhanden, jedoch machen diese Flächen jeweils nur 15-40% der Gesamtfläche aus, während gleichzeitig Brachflächen, Hutewälder und Grünland zunehmen, die alle einen geringen Bauholzvorrat aufweisen.

#### 9.3.3.2 ZÜS\_2a und ZÜS\_2b

Diese Szenarien verwenden die gleichen ökonomischen Rahmenbedingungen wie oben, gehen allerdings von den Landschaft LD\_S2 aus, das heißt von einer beginnenden Landschaftsöffnung mit 80% Primärwaldbedeckung, 15% Sekundärwald und 5% Brachflächen. Auch hier bildet die Annahme von Nachhaltigkeit den Unterschied zwischen den beiden Szenarien, welcher sich im Flächenbedarf zur Deckung des Ressourcenbedarfs ausdrückt. Der Flächenbedarf für (Wald-) Weide und Sammeln ist etwas geringer als in ZÜS\_1a,b, weil sich der erhöhte Lichteinfall in den Sekundärwäldern und auf den Brachflächen positiv auf die Menge des von Tieren verwertbaren Futters ebenso wie auf das Wachstum haselreicher Bestände auswirkt.

#### 9.3.3.3 ZÜS\_3a und ZÜS\_3b

ZÜS\_3a und ZÜS\_3b beruhen ebenfalls auf der Landschaft LD\_S2, verwenden jedoch die Bedingungen in den ökonomischen Szenarien OES\_3b bzw. OES\_4b. Das Getreide wird also auf recht kleinen, jährlich verlegten und überbrannten Feldflächen von 0,4 ha angebaut. Die Rinderdichte beträgt nur 0,5 Tiere pro Haus. Für das Brandverfahren werden im Verlauf von 15 Jahren große Flächen beansprucht; die Werte von 13 bzw. 24 ha Brachfläche in den Szenarien drücken dies aus. Es ist zu beachten dass diese Werte die absoluten Minimalbeträge sind, die sich bei Annahme einer flächendeckenden Eignung der Landschaft für den Brandfelddbau ergeben – daher sind auch die in den Abbildungen dargestellten Flächen als minimale Flächen zu verstehen. Der Flächenbedarf für die Waldweide ist hier geringer als bei den übrigen Verfahren, was durch den wegen der Brände hohen Anteil an Brachflächen und Sekundärwald in der Landschaft sowie die geringe Menge an Tieren bedingt ist. Der Flächenbedarf für die Brennholz- sowie für die Bauholzgewinnung ist höher als unter den beiden voran-

gegangenen Szenarien, weil eine Nutzungskonkurrenz mit den Erfordernissen des Brandfeldbaus besteht – das Verfahren verbrennt wortwörtlich die Hölzer.

#### 9.3.3.4 ZÜS\_4a und ZÜS\_4b

Diese Szenarien gehen von einer durch andauernde menschliche Landnutzung bereits stark veränderten Landschaft aus (LDS\_4). Der Primärwaldanteil beträgt nur noch 40%, der Sekundärwaldanteil liegt bei 30%. Auf 5% der Fläche wird ein Waldgarten angenommen, der einen deutlich höheren ökonomischen Wert für das Sammeln von Wildpflanzen wie Haselnüssen und Wildäpfeln hat. Durch angenommene langjährige Waldweide hat sich auf 15% der Fläche ein Hudewald ausgebildet, der durch vorwiegend alte Waldbestände geprägt ist. 10% der Fläche sind Brachfläche. Die Szenarien verwenden Elemente aus den ökonomischen Szenarien OES\_1b bzw. OES\_2b: In ZÜS\_4a wird intensiver Gartenbau ohne Düngung auf einer Fläche von 1 ha angenommen, in ZÜS\_4b ebenfalls intensiver Gartenbau jedoch mit Einsatz von Mistdüngung auf nur 0,6 ha großen Feldern durchgeführt. Um die entsprechende Menge Mist zu produzieren, werden in ZÜS\_4b 2 Rinder pro Haus anstelle von einem in ZÜS\_4a angenommen. Dies hat eine Verdopplung der Weidefläche pro Haus zur Folge. Der Flächenbedarf für Sammeln und Jagen ist bei beiden Szenarien ähnlich, die etwas höheren Werte bei ZÜS\_4b sind durch die geringere Feldfläche (bei jedoch relativ höheren Erträgen) bedingt. Auch der Flächenbedarf für Fischfang und die Holzgewinnung ist identisch.

#### 9.3.3.5 ZÜS\_5a und ZÜS\_5b

Die Landschaft, die für die Definition dieser Szenarien angenommen wird, hat nur noch einen Primärwaldanteil von 10%, während 40% der Fläche von Sekundärwald bedeckt ist. Einen bedeutenden Anteil hat hier erstmals auch der Landschaftstyp Grünland mit 15%, welcher einen hohen ökonomischen Wert für die Viehweide besitzt. In beiden Fällen wird von gartenähnlichem Feldbau ausgegangen, welcher in ZÜS\_5a ohne Düngung, in ZÜS\_5b mit Düngung durchgeführt wird. In beiden Fällen wird eine hohe Rinderdichte von 2 bzw. 4 Tieren pro Haus angenommen. Der Flächenbedarf für Sammeln, Jagd und Fischfang entspricht etwa dem in den übrigen Szenarien mit permanentem Anbau, während der Flächenbedarf für die Brennholz- und Bauholzgewinnung wegen des geringeren Bewaldungsgrades recht hohe Werte erreicht.

### 9.3.4 Die Kriterien der Flächenwahl in der Simulation

Die Wahl der Flächen konnte nicht generell über die Verwendung der kürzesten Distanz simuliert werden, weil davon ausgegangen werden muss, dass bei ansonsten gleicher Eignung der Flächen nicht die kürzeste Luftlinie den Ausschlag gegeben hat. Stattdessen werden für unterschiedliche Nutzungstypen verschiedene Kriterien wirksam gewesen sein. Hier wurde ein einfaches Verfahren für die Flächenwahl wie folgt definiert.

Für die Felder im permanenten Feldbau werden Flächen gewählt, die nach den Maßstäben heutiger landwirtschaftlicher Bewertung „sehr gut“ oder „gut“ geeignet sind und deren Hangneigung den Wert von 20° nicht überschreitet (siehe Kap. 9.3.1). Zudem muss die gewählte Zelle den geringsten Wert aus der Multiplikation von Distanz und Höhenlage aller Zellen haben. Damit werden für den Feldbau die tiefer gelegenen, klimatisch begünstigten Landschaften in Seenähe stark bevorzugt, auch wenn sie eine deutlich weitere Distanz erfordern als höher, aber näher gelegene Flächen. Die Felder unter Annahme von Brandfeldbau müssen die gleiche Eignung aufweisen, jedoch werden auch solche



Gebiete als geeignet berücksichtigt, die nach heutigen Kriterien nur mäßig geeignet sind. Dies ist an das Vorgehen in WELASSIMO\_feldbau angepasst und nimmt Bezug auf die durch Ehrmann et al. (2009) geäußerte Ansicht, dass mit Brandverfahren auch auf nur mittelmäßig geeigneten Böden noch Erträge erzielt werden können. Es muss bei dem gewählten geringen Maßstab der Untersuchung betont werden, dass die Lokalisierung der für Feldbau geeigneten Böden (mit Ausnahme der Flächen der heutigen Stadt Zürich mit den Daten in Jacomet et al. (1989 S. 18)) nicht durch besser aufgelöste Daten ergänzt werden konnte, weil diese nicht vorhanden sind.

Die Flächenwahl für die Bau- und Brennholzgewinnung sowie für die Rinderweide und das Sammeln von Wildpflanzen orientiert sich lediglich an der Hangneigung, die 25° nicht überschreiten darf, und berücksichtigt keine Bodeneigenschaften. Jedoch wird auch hier nicht schlichtweg die Zelle mit der kürzesten Distanz gewählt, sondern in Analogie zum für den Getreidebau beschriebenen Verfahren den geringsten Wert aus der Distanz mit dem Quadrat der Höhe. Dadurch hat der Faktor Meereshöhe hier ein weniger großes Gewicht als bei der Wahl der Feldflächen, jedoch werden immer noch tiefer gelegene Bereiche bevorzugt. Für die Flächenwahl für das Fischen und die Jagd hingegen wurde die einfache Entfernung als hinreichend für die Flächenwahl (neben der Eigenschaft Wasserbedeckung oder eben keine Wasserbedeckung) betrachtet; dies resultiert allerdings nicht etwa aus der Annahme, dass die reine Entfernung einen besonders hohen Einfluss auf die Wahl der Jagd- bzw. Fischgebiete hatte, sondern vielmehr aus der Erkenntnis, dass die Verortung guter Fisch- und Jagdgebiete mit den hier gewählten Methoden reine Spekulation wäre. Daher gibt die kreisförmige Fläche für die Jagd und den Fischfang lediglich deren ungefähre Ausmaße an, sagt jedoch besonders bei der Frage der Jagd wenig über deren tatsächliche Lage aus.

Generell werden alle (land-)Flächen für mehrere ökonomischen Aktivitäten gleichzeitig genutzt werden. Eine Ausnahme davon bilden lediglich die Feldflächen für permanenten Feldbau, auf denen keine weiteren Nutzungsarten erlaubt sind. Somit sind auf den Abbildungen 51 ff. alle innerhalb der weitesten Distanzen für die jeweilige ökonomische Aktivität gelegenen Flächen *auch* für diese genutzt, selbst wenn sie auf den entsprechenden Kartendarstellungen von anderen Symbolen mit geringerer flächiger Ausdehnung verdeckt sind. (Wald-) Weideflächen und Brandfeldbau-Flächen werden also auch für die Jagd und das Sammeln von Brennholz verwendet. Die daraus resultierende höhere Geschwindigkeit der Ressourcendegradation (z.B. durch den Verbiss von Jungpflanzen) kann auf der gewählten Skala nicht simuliert werden, und müsste durch höher auflösende Untersuchungen für einzelne Fundstellen oder kleinere Landschaftsausschnitte durchgeführt werden.

#### 9.4 Ergebnisse der Fallstudie ZÜRISSIMO

Im Folgenden werden Karten vorgestellt, auf denen die Ausdehnung der Wirtschaftsflächen unter Anwendung der Szenarien ZÜS\_1a bis ZÜS\_5b dargestellt ist. Um die Abbildungen nicht zu überladen, wurde in allen Abbildungen jeweils nur eine Auswahl der simulierten Aktivitäten visualisiert: Dies sind die Ausdehnung von Feldflächen und Brandfeldbau-bedingten Brachflächen, von (Wald-)Weide, Brennholzgewinnung und Jagd. Die Simulationen laufen kontinuierlich in Jahresschritten von 4000 bis 2400 v. Chr. ab; für diese Fallstudie werden 3 Zeiträume ausgewählt und diskutiert, welche für die Darstellung von bestimmten Zusammenhängen besonders geeignet sind.

Methodenkritisch muss an dieser Stelle darauf verwiesen werden, dass es fraglich ist, ob sich der Flächenbedarf einer Siedlung mit 100 Häusern durch die Multiplikation des Flächenbedarfs eines Hauses mit dem Wert 100 korrekt darstellen lässt. Selbst wenn, wie von Dieckmann (1990, S. 100; et al. 1997, S. 17) für die Siedlung Hornstaad rekonstruiert, jedes Haus tatsächlich eine relativ unabhängige wirtschaftliche Einheit darstellen würde, so würde sich der mit steigenden Hauszahlen wachsende

Bedarf vermutlich dennoch nicht linear in einer entsprechenden Ausweitung der Fläche, sondern anteilig auch in einer Intensivierung der Flächennutzung und einer dementsprechenden Auswirkung auf die ökosystemaren Prozesse niederschlagen. Dies wird jedoch hier nicht integriert und muss in künftigen Arbeiten berücksichtigt werden.

#### 9.4.1 Zeitraum 1: Cortaillod, um 3903 v. Chr.

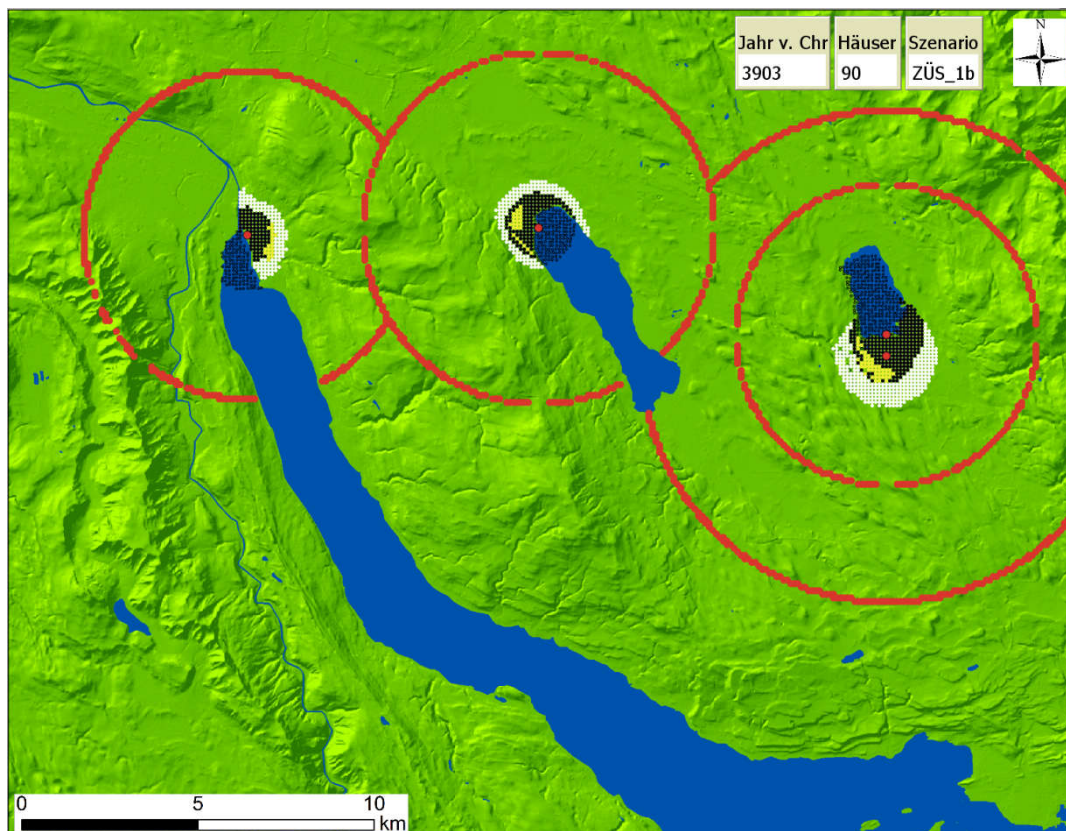
In diesem Zeitraum sind nach dem modifizierten Siedlungsdatensatz 4 Siedlungsstellen belegt: Wetzikon-Robenhausen mit 28 Häusern, Wetzikon-Himmerich mit 18 Häusern, Fällanden-Rietspitz mit 25 Häusern und Zürich-Mozartstrasse mit 19 Häusern. Die Hauszahlen sind in keinem der Fälle durch archäologische Befunde belegt, sondern reine Zufallszahlen. Insgesamt beträgt die Hauszahl also 90, die Bewohnerzahl entsprechend 540, verteilt auf die vier Siedlungen. Zürich-Mozartstrasse ist die einzige Siedlungsstelle, deren Belegung zu exakt dieser Zeit dendrochronologisch gesichert ist (Phase Cortaillod A, 3913-3901) (Ebersbach et al. 2015 S. 142 und 173 ff.). Hier sind nur drei Häuser mit Gewissheit identifizierbar, jedoch spricht vieles für eine höhere Anzahl an Häusern. Die Häuser sind dabei mit etwa 12 x 3 m deutlich größer als das „Standardhaus“, welches in diesen Simulationen angenommen wurde. Die Zeitstellung der drei übrigen Siedlungen ist zufällig auf diesen Zeitraum gefallen. Sie datieren nach Ebersbach (2010a) alle gemäß typologischer Kriterien in den Zeitraum 4000-3750 v. Chr.

Um den Flächenbedarf in diesem Zeitraum zu simulieren, wurden 3 Szenarien ausgewählt: In ZÜS\_1b wird eine vom Menschen bisher nicht beanspruchte „Urlandschaft“ mit Primärwaldbedeckung angenommen. Die Menschen decken ihren Ressourcenbedarf auf eher nachhaltige Weise. In ZÜS\_2a wie in ZÜS\_3a ist die Landschaft bereits zu 15% von jungem Sekundärwald und zu 5% von Brachflächen bedeckt, und die Ressourcenentnahme erfolgt auf weniger nachhaltige Weise. Die ökonomischen Kenngrößen der Szenarien sind in Tab. 37 angegeben.

In Abb. 52 a-c sind Karten der Zürichseeregion dargestellt, welche die Simulation der drei Szenarien zeigen. In Tab. 38 ist für die 19 Häuser der Siedlung Zürich-Mozartstrasse der Flächenbedarf für Feldbau, Waldweide, Brennholzgewinnung, Fischfang und Jagd angegeben. Aus der Tabelle wie aus der Kartendarstellung wird erneut der große Unterschied des Flächenbedarfs für Brandfeldbau (240 ha) einerseits und für die permanenten Verfahren (20 ha) andererseits ersichtlich. Dabei muss beachtet werden, dass die Brandflächen die summierten Werte aus 15 Jahren sind. Aus der Kartendarstellung wird außerdem deutlich, dass alle vier dargestellten Siedlungen keine guten Feldflächen in direkter Umgebung hatten und daher die Felder erst mit einigen hundert Metern Entfernung vom Dorf begannen. Im Unterschied zu den Feldflächen ist die Fläche für die Waldweide in den Szenarien ZÜS\_1b und ZÜS\_2a mit 200 ha bzw. 81 ha größer als in ZÜS\_3a mit 40 ha.

Dies liegt einerseits an der höheren Anzahl Rinder pro Kopf von 1 gegenüber 0,5, andererseits aber auch an der vielfach geringeren Wertigkeit insbesondere von Primärwaldflächen gegenüber Sekundärwald- bzw. Brachflächen. Der Unterschied des Flächenbedarfs für (Wald-)Weide zwischen den beiden permanenten Verfahren bei gleicher Anzahl Tiere pro Haushalt beruht auf einer Kombination aus dem eben beschriebenen Effekt sowie der Annahme von „nachhaltigerer“ Beweidung in ZÜS\_1b gegenüber einer nicht auf Ressourcenschonung bedachten Weide in ZÜS\_2a. Die Fläche für den Fischfang wird hier mit insgesamt 130 ha berechnet; dafür wären Distanzen von 1600 m erforderlich. Für die Jagd ist hier gemäß den in den Szenarien angenommenen Werten eine sehr große Fläche von 22-55 km<sup>2</sup> erforderlich. Der hohe Wert von 55 ist dabei derjenige, der sich auf eine „nachhaltige“ Entnahme von Wildtieren in einer Größenordnung von 20% der Gesamtmenge an Tieren pro Jahr bezieht und damit der langfristig wahrscheinlichere; die geringeren Werte nehmen dagegen eine 2-3-fach höhere Entnahme an und wären demnach wohl auf Dauer nicht realistisch. Allerdings ist der Wildtieranteil in den Szenarien auch recht hoch und beträgt im Mittel 10-17%. Die Brennholzgewinnung wird hier mit 50-87 ha für die Siedlung angegeben, wofür Entfernungen von 600-816 m erforderlich sind. In ZÜS\_1b ist wiederum die Annahme nachhaltiger Entnahme der Ressource für den höheren Flächenbedarf verantwortlich, während in dem entsprechenden Landschaftsszenario (100% Primärwaldbedeckung) eigentlich eine höhere Wertigkeit für Brennholzgewinnung gegeben ist.

Wie aus Abb. 52 deutlich wird, erfordert die für diesen Zeitraum angenommene Bevölkerung in keinem der Szenarien eine besonders große Fläche; eine Konkurrenz zwischen den Siedlungen um Wirtschaftsflächen scheint unwahrscheinlich. Die maximale Distanz von 2600 m für die weitest entfernten Feldflächen für Brandfeldbau in ZÜS\_3a ist zwar deutlich über der von den permanenten Verfahren, jedoch kann auf Grundlage von Flächenbedarf und Entfernungen keines der Szenarien hier als wahrscheinlicher oder unwahrscheinlicher gelten.



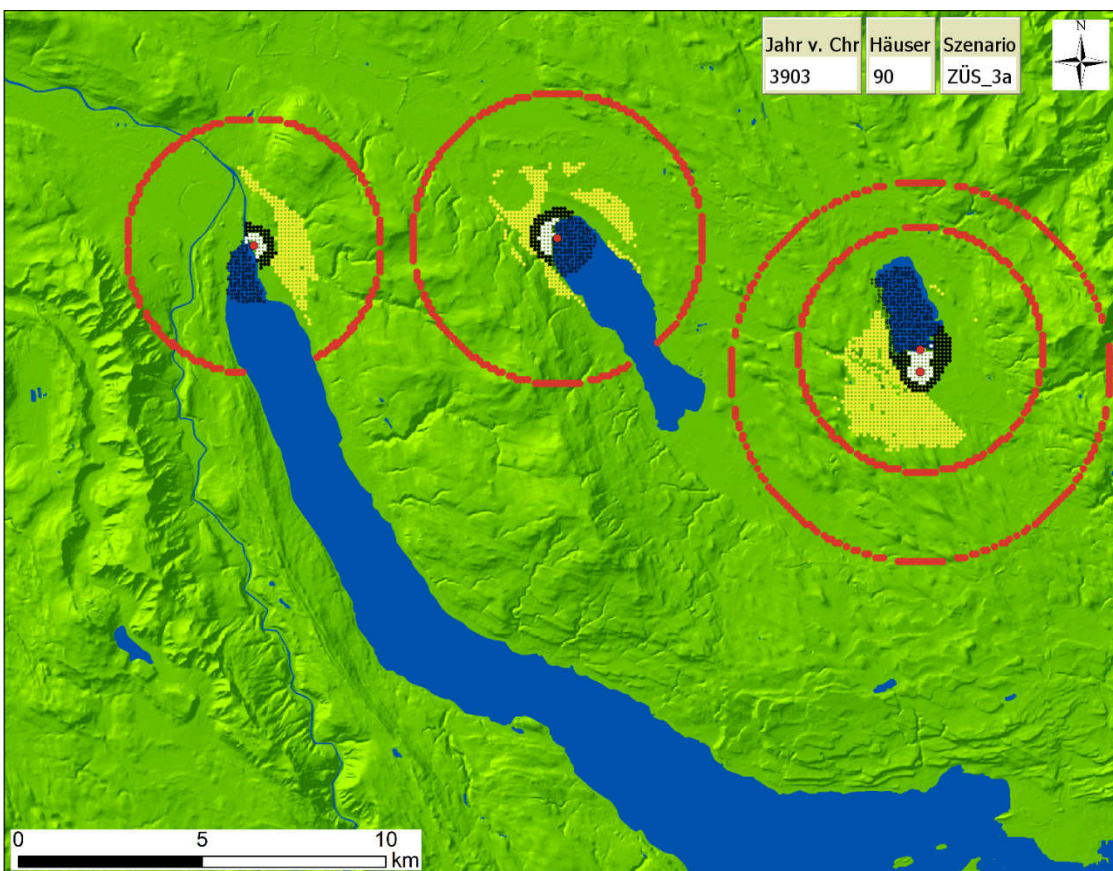
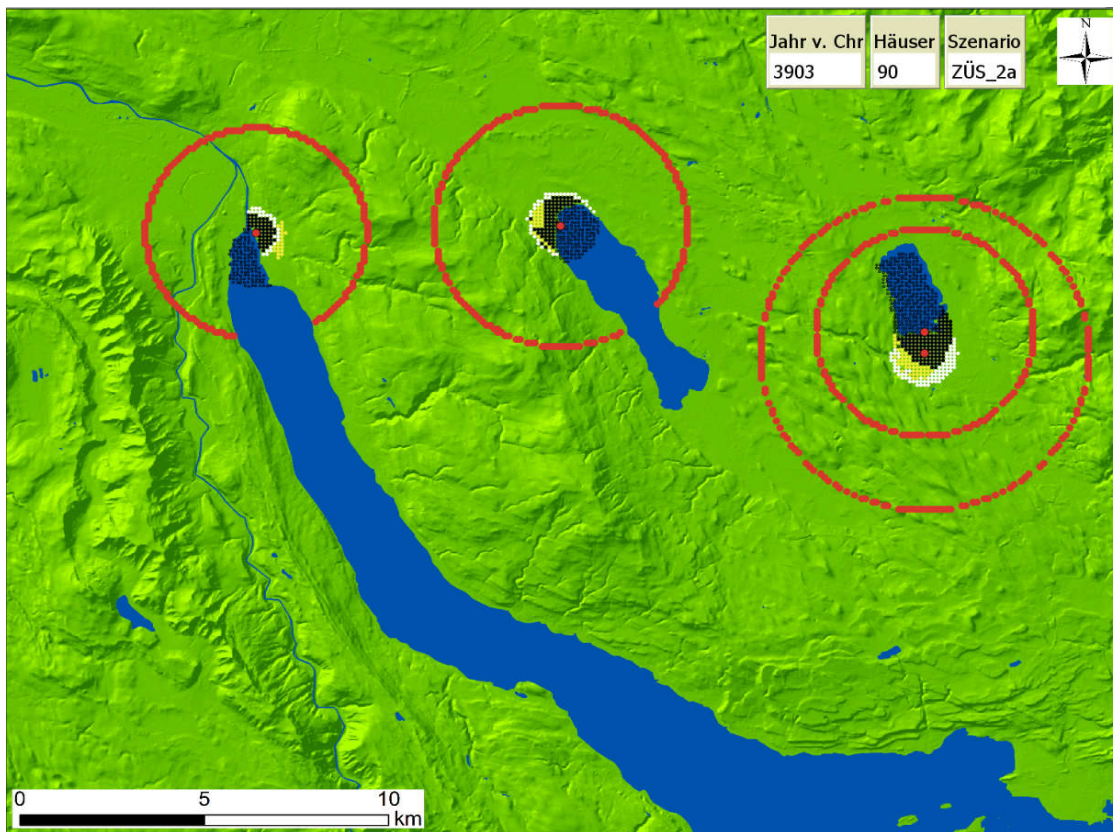


Abb. 52: a-c: Simulation des Flächenbedarfs von vier Cortaillod-zeitlichen Siedlungen (Tab. 36: 3,52,53,61) um 3903 v. Chr. für Getreideanbau (gelb), Viehhaltung (weiß), Brennholzwinnung (schwarz) und Jagd (rot) sowie Fischfang in den Szenarien ZÜS\_1b, ZÜS\_2a, ZÜS\_3a und ZÜS\_3b. Die Siedlungen sind mit einem roten Punkt markiert

Tab. 38: Flächenbedarf und maximale Distanzen für ökonomische Aktivitäten in der Siedlung Zürich-Mozartstrasse Phase Cortaillod A um 3903 v. Chr. bei Annahme von 19 Häusern (114 Bewohnern) und verschiedenen Szenarien (siehe Tab. 37). Siehe auch Abb. 52

Szenario	Feldbau		(Wald-)Weide		Brennholz		Fischfang		Jagd
	Fläche	Dist.	Fläche	Dist.	Fläche	Dist.	Fläche	Dist.	Fläche
ZÜS_1B	20 ha	1,1 km	200 ha	1,2 km	87 ha	0,8 km	130 ha	1,6 km	55 km <sup>2</sup>
ZÜS_2A	20 ha	1,1 km	81 ha	0,7 km	50 ha	0,6 km	130 ha	1,6 km	22 km <sup>2</sup>
ZÜS_3A	240 ha	2,6 km	20 ha	0,6 km	73 ha	0,7 km	130 ha	1,6 km	30 km <sup>2</sup>

#### 9.4.2 Zeitraum 2: Pfyn, 3750 v. Chr.

Hier sind nach dem modifizierten Siedlungsdatensatz 4 Pfyn-zeitliche Siedlungsstellen belegt, von denen drei sehr wahrscheinlich gleichzeitig besiedelt waren, wie ihre Dendro-Datierungen nahelegen: Meilen Schellen „mittleres Pfyn“ (3759-3736 v. Chr.), Meilen-Obermeilen Rohrenhaab „Schicht 4a“ (Enddatum 3741 v. Chr.), und Hombrechtikon-Feldbach West, „Pfyn“ (Anfangsdatum 3757 v. Chr.). Die beiden erstgenannten befinden sich in räumlicher Nähe am östlichen Ufer des Zürichsees und liegen nur knapp einen Kilometer auseinander. Zusätzlich befindet sich in nur 2,3 km Entfernung die Siedlungsstelle Meilen-Feldmeilen Vorderfeld, deren Schicht IX nach typologischen Kriterien eng in das sechzehnte-Jahrtausend 3781-3750 datiert wurde. (Die Siedlungsstelle Greifensee-Wildsberg Storen ist nach Dendrodaten bis 3752 besiedelt und könnte damit im besagten Jahr ebenfalls noch genutzt gewesen sein). Für Meilen-Feldmeilen Vorderfeld Schicht IX liegt eine relative Größenangabe über die Schichtausdehnung vor, die in der Klassifikation in der Datenbank von Ebersbach (2010a) als „mittel“ (2500 bis 10000 m<sup>2</sup>) bezeichnet wird, während für keine der Siedlungen eine absolute Angabe über die Anzahl an Häusern vorliegt. Durch die Zuweisung von Zufallszahlen wurden für die Siedlungen in der Reihenfolge Schellen-Rohrenhaab-Feldmeilen-Hombrechtikon Hauszahlen von 62,40,57 und 9 vergeben. Für die drei nahe beieinander liegenden Meilener Siedlungsstellen ist zumindest die Möglichkeit gegeben, dass bei den Siedlungen tatsächlich eine Gleichzeitigkeit der Besiedlung vorlag, wenn diese auch nur für Rohrenhaab und Schellen gesichert ist. Ebenso ist es natürlich vorstellbar, dass es sich bei Feldmeilen-Vorderfeld um eine Vorläufersiedlung einer der beiden anderen gehandelt haben könnte. Hier wird die erstgenannte Situation angenommen.

Für die Simulation wurden vier Szenarien ausgewählt: ZÜS\_2a, ZÜS\_2b, ZÜS\_3a und ZÜS\_4a. Die Landschaft in den ersten drei Szenarien ist in einem Verhältnis von 80% Primärwald, 15% Sekundärwald und 5% Brachfläche überwiegend mit Wald bedeckt, während in ZÜS\_4a eine bereits deutlich stärker vom Menschen beeinflusste Landschaft angenommen wird, die zu 40% von Primärwald, zu 30% von Sekundärwald, zu 5% von Waldgarten, zu 15% von Hudewald und zu 10% von Brachflächen bedeckt ist. Die ökonomischen Bedingungen der Szenarien können Tab. 37 entnommen werden.

In Abb. 53a, b und Abb. 54a, b sind die Simulationen in Kartenform dargestellt. In Tab. 39 sind Flächenausdehnung und maximale Entfernungen zu den Flächen für die drei nahe beieinander liegenden Siedlungen am Ostufer des mittleren Zürichsees angegeben. Die gesamte Hauszahl in diesen drei Siedlungen beträgt 159, bei 6 Bewohnern pro Haus entspricht das einer gesamten Bevölkerung von knapp 1000 Bewohner (n=950). Diese betreiben in den drei Szenarien ZÜS\_2a, ZÜS\_2b und ZÜS\_4a gartenähnlichen Feldbau auf Feldern von 1 ha Größe und besitzen eine Rinderherde von insgesamt 160 Tieren, während die Menschen in ZÜS\_3a Brandfeldbau mit einer Brachdauer von 8 Jahren auf einer Feldfläche von jährlich 0,4 ha betreiben und eine Rinderherde von 80 Tieren besitzen. Die jährlich für die Getreideproduktion beanspruchten Flächen betragen in den Szenarien mit gartenähnli-

chem Feldbau jeweils 1,9 km<sup>2</sup> und bedingen maximale Entfernungen von 1km, während bei Brandfeldbau mit Buschbrache während der simulierten 15 Jahre eine Fläche von 27 km<sup>2</sup> überprägt wird, woraus wegen der Bevorzugung tiefer gelegener Flächen hier eine maximale Distanz von 10 km resultiert. Dieser Wert ist im Vergleich zu der Flächenangabe für gartenähnlichen Feldbau mit größerer Unsicherheit behaftet; so ist die gewählte Brachdauer von 8 Jahren recht kurz, und die Fläche würde sich durch Annahme einer Waldbrache von 15 Jahren nochmals drastisch auf das doppelte erhöhen. Zudem kommt, dass hier die sehr konservativ gerechnet wurde und eine Nutzbarkeit der berechneten Fläche für Brandfeldbau zu 100% annimmt.

Dies ist jedoch, wie in 8.4.1 ausgeführt, eher unwahrscheinlich, weshalb die simulierte Fläche ein absolutes Minimum darstellt. Für die hier getroffenen Annahmen muss in jedem Fall festgehalten werden, dass die Annahme von Brandfeldbau wegen der maximalen Entfernung der Felder von 10 km mit mehr Problemen behaftet als im Fall der oben simulierten Cortaillod-zeitlichen Siedlungen. Selbst wenn man die lang ausgedehnten „Zipfel“ der gesamten für Brandfeldbau beanspruchten Flächen entlang des Seeufers ablehnt, sind die dann geringeren Entfernungen von 5 km immer noch sehr weit, wenn man eine regelmäßige Hege der Feldflächen (zumindest wegen des Schutzes vor Tierfraß) als erforderlich ansieht. Zudem erstrecken sich die Feldflächen in Lagen von über 700 m<sup>üNN</sup>, liegen also 300 m über dem Seespiegel des Zürichsees.

Im Vergleich zu den dort gelegenen Anbauflächen dürfte analog zu den in Kap. 6.4.5 gefundenen Zusammenhängen bereits ein negativer Einfluss auf die mittlere Höhe der Getreideerträge merklich gewesen sein. Die Ausdehnung der (Wald-) Weideflächen ist im Brandfeldbau-Szenario mit 2,2 km<sup>2</sup> am geringsten, was sowohl an der geringeren Anzahl von 80 Tieren als auch am höheren Futterwert auf den Brachflächen liegt. Allerdings liegt hier ein Nutzungskonflikt vor, denn durch die Beweidung der Brachflächen wird das Wachstum von Sekundärvegetation deutlich gehemmt. Somit würden sich also entweder die Feldflächen in noch weitere Entfernungen ausdehnen, oder die Tiere müssten in weiter entfernten Bereichen ihr Futter suchen. In ZÜS\_4a ist für die größere Rinderherde von 159 Tieren eine Fläche von 5,3km<sup>2</sup> erforderlich, die in ZÜS\_2a und ZÜS\_2b wegen des größeren Primärwaldanteils und der Annahme stärker ressourcenschonender Beweidung in ZÜS\_2b noch weiter auf 7,5 km<sup>2</sup> bzw. 13 km<sup>2</sup> anwächst.

Der Flächenbedarf für die Brennholzgewinnung liegt zwischen 4,3 km<sup>2</sup> und 9,7 km<sup>2</sup>, mit maximalen Entfernungen von 2,5 bis 4,8 km. Der hohe Wert wird durch ausschließliches Sammeln von Brennholz bedingt, während ansonsten auch junge Bäume für den Zweck gefällt werden. Dieser Wert stellt einen Mittelwert aus 15 Jahren dar und dürfte zu Beginn der Ressourcennutzung in einer Landschaft eher etwas geringer liegen, nach Ablauf von mehr als den hier angenommenen 15 Jahren aber noch weiter ansteigen. Die Fläche für den Fischfang wird hier mit 10 km<sup>2</sup> berechnet. Die Verortung der Flächen ist dabei völlig unklar, und auf dem offenen See wurde möglicherweise gar kein Fischfang betrieben. Jedenfalls kann aus dem hohen Flächenbedarf erkannt werden, dass der Beitrag von Fisch für die Kalorienversorgung generell wohl recht gering war, und auch keine große Rolle in der Reaktion auf eine kurzfristige Nahrungsmittelknappheit gespielt haben dürfte. Noch deutlich höher liegt der Flächenbedarf für die Jagd, der aber von vorneherein eine größere Rolle bei der Ernährungssicherung zugeschrieben wurde. Auch hier unterteilen sich die Angaben grob in einen hohen und einen tieferen Wert von 450 km<sup>2</sup> bzw. 206-294 km<sup>2</sup>, die die unterschiedlichen Annahmen zur Nachhaltigkeit der Ressourcennutzung widerspiegeln.

Tab. 39: Summierter Flächenbedarf und maximale Distanzen für ökonomische Aktivitäten von 159 Häusern (954 Bewohnern) in den Pfyn-zeitlichen Siedlungen Meilen-Schellen (62 Häuser), Meilen-Rohrenhaab (40 Häuser) und Meilen-Feldmeilen (57 Häuser) unter Annahme verschiedener Szenarien (siehe Tab. 37) um 3750 v. Chr.

Szenario	Feldbau		(Wald-)Weide		Brennholz		Fischfang		Jagd
	Fläche	Dist.	Fläche	Dist.	Fläche	Dist.	Fläche	Dist.	Fläche
ZÜS_2a	1,9 km <sup>2</sup>	1 km	7,5 km <sup>2</sup>	3,5 km	4,6 km <sup>2</sup>	2,5 km	10 km <sup>2</sup>	2,2 km	212 km <sup>2</sup>
ZÜS_2b	1,9 km <sup>2</sup>	1 km	13 km <sup>2</sup>	6 km	9,7 km <sup>2</sup>	4,8 km	10 km <sup>2</sup>	2,2 km	450 km <sup>2</sup>
ZÜS_3a	27 km <sup>2</sup>	10 km	2,2 km <sup>2</sup>	0,9 km	6,2 km <sup>2</sup>	2,5 km	10 km <sup>2</sup>	2,2 km	294 km <sup>2</sup>
ZÜS_4a	1,9 km <sup>2</sup>	1 km	5,3 km <sup>2</sup>	3,3 km	4,3 km <sup>2</sup>	2,5 km	10 km <sup>2</sup>	2,2 km	206 km <sup>2</sup>

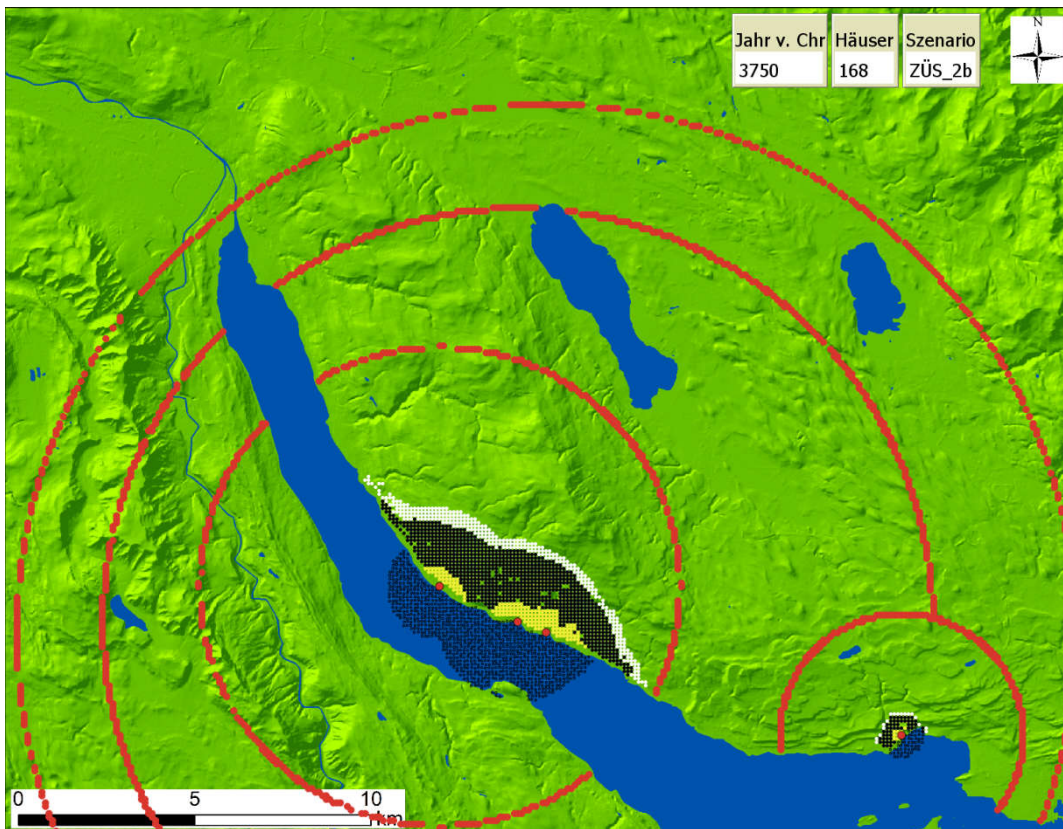
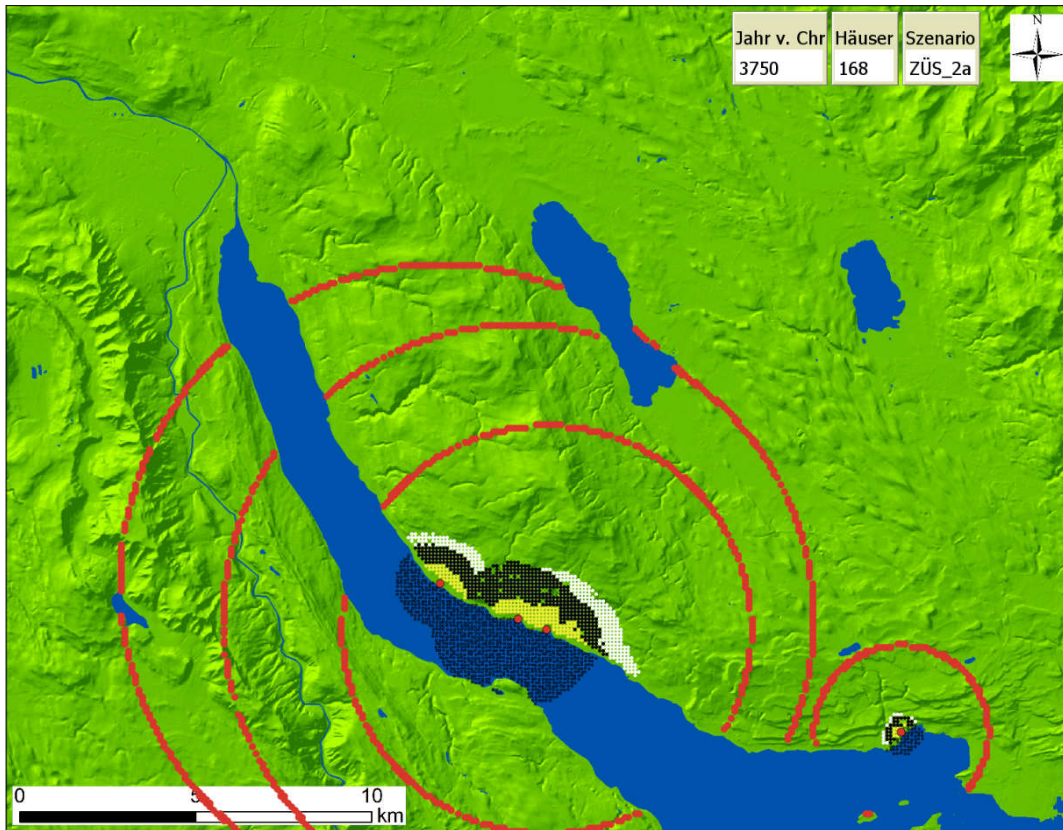


Abb. 53 a,b: Simulation des Flächenbedarfs von vier Pfyn-zeitlichen Siedlungen um 3750 v. Chr. für gartenähnlichen Feldbau (gelb), Viehhaltung (weiß), Brennholzgewinnung (schwarz) und Jagd (rot) sowie Fischfang in den Szenarien ZÜS\_2a (oben) und ZÜS\_2b (unten). Die Siedlungen sind mit einem roten Punkt markiert. Siehe auch Abb. 54



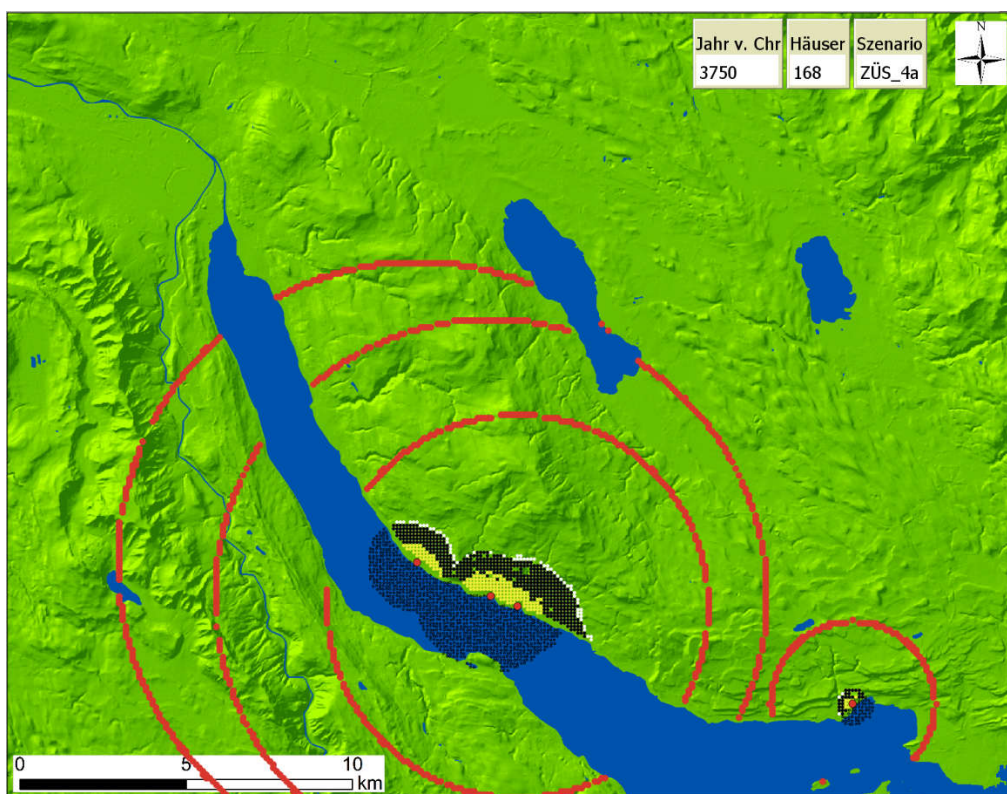
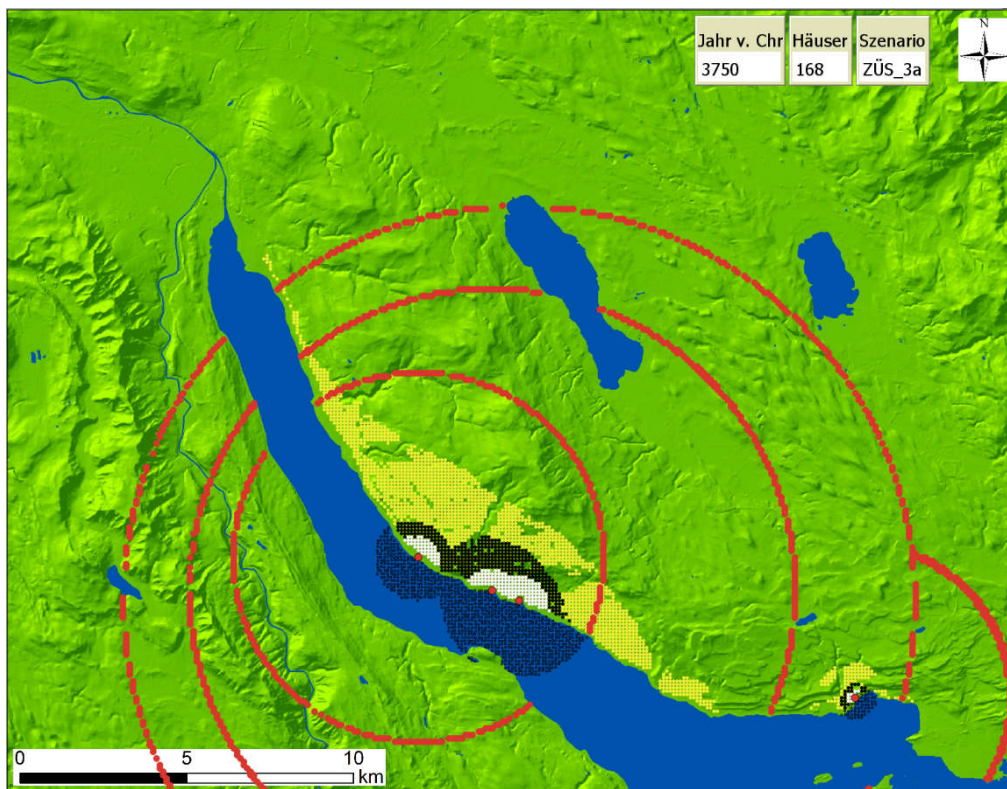


Abb. 54 a,b: Simulation des Flächenbedarfs von vier Pfyn-zeitlichen Siedlungen um 3750 v. Chr. für Brandfeldbau (oben) bzw. gartenähnlichen Feldbau (unten)(gelb), Viehhaltung (weiß), Brennholzgewinnung (schwarz) und Jagd (rot) sowie Fischfang in den Szenarien ZÜS\_3a und ZÜS\_4a. Die Siedlungen sind mit einem roten Punkt markiert. Siehe auch Abb. 53

### 9.4.3 Zeitraum 3: Schnurkeramik, 2720 v. Chr.

Die Wahl des vorliegenden Zeitraumes während der Schnurkeramik liegt darin begründet, dass er die dichteste Besiedlung am Zürichsee während des gesamten Untersuchungszeitraumes zwischen 4000 und 2400 v. Chr. repräsentiert (Ebersbach 2010a S. 92 ff.). Nach Bolliger (2013, siehe Abb. 55) sind in diesem Zeitraum die 12 Siedlungsstellen Zürich-Mythenschloss, Zürich-Mozartstrasse, Zürich-KanSan, Zürich-AKAD Pressehaus, Wollishofen-Bad, Kilchberg-Schooren, Hombrechtikon-Rosenberg, Männedorf-Strandbad, Meilen-Schellen, Freienbach-vor der Kirche, Stäfa-Lanzellen, und Küsnacht-Hörnli belegt. Die ersten 9 definiert Bolliger als „sicher belegte Siedlungsphasen“, während die letzten drei als „mögliche Siedlungsphasen“ angesprochen werden. Freienbach-vor der Kapelle liegt außerhalb dieses Untersuchungsgebietes und wird daher hier nicht berücksichtigt. Nicht nur die Anzahl der Siedlungen erreicht in der Schnurkeramik hohe Werte: so errechnet Ebersbach für die (aus zwei Fundstellen bestehende) Siedlung Zürich KanSan Seefeld\_E2-3\_AKAD C2 (2718-2710 v. Chr.) eine Anzahl von 186 Häusern. Für die übrigen Siedlungen dieses Zeitraumes können keine gesicherten Aussagen getroffen werden. Dokumentiert ist, dass ihre flächige Ausdehnung am Zürichsee innerhalb einer recht weiten Spannbreite liegt, die von kleinen Siedlungen von nur 0,24 ha bis hin zu großen Siedlungen bis zu 1,5 ha Ausdehnung bzw. 250 m Länge reicht (Bolliger 2013 S. 84; Ebersbach 2010a S. 84). Auch die Informationen zur Größe und Bauweise der Häuser ist sehr heterogen und lässt keinen „schnurkeramischen Haustyp“ erkennen, weshalb hier weiterhin das bisher verwendete „Modellhaus“ von 6 Bewohnern verwendet wird. Die Dichte der Bebauung in diesen Siedlungen ist unklar. So nimmt Billamboz für die schnurkeramische Besiedlung am Bodensee eine eher lockere Bebauung an (Billamboz und Köninger 2008, S. 329), während aber auch Belege von dichter Reihenbebauung vorliegen (Bolliger 2013 S. 85). Aus diesem Grund wurden hier zwei Varianten gerechnet: Variante 1 geht für die kombinierte Siedlung Zürich-KanSan-AKAD von einer großen Siedlung mit 186 Häusern aus, während in den übrigen Siedlungen zwischen 30 und 90 Häusern angenommen werden. Variante 2 geht dagegen von nur 1/3 der Siedlungsgröße für die übrigen Siedlungsstellen aus; die große Siedlung auf Züricher Stadtgebiet bleibt jedoch bestehen. Daraus ergibt sich eine gesamte Anzahl Häuser von 714 Häusern in Variante 1 und 412 Häusern in Variante 2, die sich auf die elf oben genannten Siedlungsstellen verteilen.

Für die Simulation werden vier Szenarien in je zwei Varianten 1 und 2 miteinander verglichen: ZÜS\_3a, ZÜS\_4b, ZÜS\_5a und ZÜS\_5b. Die Landschaften in ZÜS\_3a und ZÜS\_4a, b wurden bereits im vorangegangenen Kapitel nochmals kurz erläutert. Die Landschaft in ZÜS\_5a,b ist an das landschaftliche Szenario LD\_S6 angelehnt, welches ein bereits stark anthropogen geprägtes Mosaik aus nur noch 10% Primärwald, 40% Sekundärwald, 5% Waldgarten, 15% Hudewald, 15% Brachflächen und 15% Grünland beschreibt (siehe Tab. 22). Die Annahmen zur Ökonomie in den Szenarien können Tab. 37 entnommen werden. ZÜS\_3a wird bereits in Kap. 9.4.2 definiert. In ZÜS\_4b wird gartenähnlicher Feldbau auf 0,6 ha Fläche betrieben, und pro Haus werden 2 Rinder gehalten. In ZÜS\_5 a, b wird ebenfalls gartenähnlicher Feldbau auf einer Fläche von 1 bzw. 0,6 ha ohne bzw. mit Düngung durchgeführt und es werden 2 bzw. 4 Rinder pro Haus gehalten.

Fundstellen- kürzel	ZH-BR/My	ZH-Kl. H	ZH-OP	ZH-MOZ	ZH-KanSan	ZH-AKAD	WO-BA	KB-BE	KBS	HO-S	HO-DS	WW-HA	WW-VA	WW-S	FB-VDK	FB-HS	FB-HUW	RA-UO	HOMFW	HOMRO	ST-L	MD-SB	MD-LH	UESL	MERO	MES	FM-VF	EB-WK	EB-WD	KUEH	Sicher belegte Siedlungsphasen	Mögliche Siedlungsphasen/ Aktivitäten
	Abschnitt	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
2800-2776																															2	4
2775-2751																															2	5
2750-2726																															8	6
2725-2701																															9	3
2700-2676																															7	9
2675-2651																															5	3
2650-2626																															3	1
2625-2601																															1	1
2600-2576																															2	1
2575-2551																															3	1
2550-2526																															3	2
2525-2501																															5	6
2500-2476																															3	3
2475-2451																															3	3
2450-2426																															4	0
2425-2401																															0	0

Schlagphase. Mehrere a-Daten. Splintschätzungen je nach Relevanz und möglicher Abweichung mit einbezogen. Gleichzeitig auch im Holz belegter, menschlicher Einfluss möglich.

Menschliche Aktivität. Nur 1 a-Datum, oder nur b-Daten. Gleichzeitig auch im Holz belegter, menschlicher Einfluss möglich.

Mögliche Aktivität. Nur 1 b-Datum.

Im Holz belegter menschlicher Einfluss.

Abb. 55: Schnurkeramische Besiedlungsphasen am Zürichsee in 25 Jahres-Zeitfenstern. Nach Bolliger (2013)

In den Abbildungen Abb. 56 a,b bis Abb. 59 a,b sind Karten des Flächenbedarfs für die elf oben genannten, gleichzeitigen schnurkeramischen Siedlungen des Zeitraums 2720 v. Chr. unter Annahme von vier verschiedenen Szenarien angegeben. Jede Simulation wurde mit einer höheren (Variante 1) und einer geringeren Bevölkerungszahl (Variante 2) in den Siedlungen gerechnet. Tab. 40 gibt die Flächenausdehnung und die maximale Entfernung zu den Flächen für die zwei Siedlungen Zürich-KanSan-AKAD und Zürich-Mozartstrasse von zusammen 200 Häusern an. Wie auch für die Simulationen in Kap. 9.4.2 diskutiert, erscheint für eine Siedlung dieser Größe die Annahme von Brandfeldbau als impraktikabel. Wenn man davon ausgeht, dass mit neolithischen Methoden ein erfolgreicher Getreideanbau auf Parabraunerden aus Moränenmaterial durchführbar war (und ich gehe davon aus, wie bereits erläutert) dann erscheint für diese Zeitstellung die Annahme von Brandfeldbau als höchst unwahrscheinlich. Wieso sollten die Menschen auf so einer großen Fläche wertvolle Ressourcen (Bauholz und Brennholz) verbrennen, nur um höhere Erträge pro Hektar zu erzielen? Zwar sind hier die maximalen Distanzen zu den Flächen wegen des insgesamt höheren Anteils feldbaueigneter Flächen geringer als für die Simulationen in Kap. 9.4.2, jedoch liegen sie mit 7,5 km immer noch weit über den Entfernungen für die permanenten Verfahren von 1,7-2,4 km. Bei einer Gehgeschwindigkeit von 5 km/h würden aus den Angaben maximale Gehzeiten von 3 Stunden in ZÜS\_3a gegenüber Gehzeiten von nur 1 Stunde für den Besuch der Felder in den anderen Szenarien resultieren.

Der Flächenbedarf für die (Wald-) Weide bei Annahme von nur 0,5 Rindern pro Haus oder einer Herde von knapp 100 Tieren und der Landschaft LD\_S3 (verwendet in ZÜS\_3a, b) liegt bei 2,6 km<sup>2</sup>, die maximale Distanz bei 1,8 km. Dagegen sind für die 2 Tiere pro Kopf bzw. die daraus resultierende

Herde von 400 Tieren 12 km<sup>2</sup> in LDS\_4 (verwendet in ZÜS\_4a,b) bzw. 8 km<sup>2</sup> in LDS\_5 (verwendet in ZÜS\_5a,b) oder maximale Distanzen 5,2 und 3,9 km erforderlich. Für die hohe Anzahl von 4 Tieren pro Kopf bzw. eine Herde von 800 Tieren in ZÜS\_5b wird sogar eine Fläche von 18 km<sup>2</sup> benötigt. Die jährlich erforderliche Fläche für die Brennholzversorgung der 200 Häuser liegt in den dichter bewaldeten Gebieten bei 5-7 km<sup>2</sup> und erfordert maximale Distanzen von 2,6-3 km, im stark aufgelichteten Landschaftsszenario von LD\_S6 (bei ZÜS\_5a,b) sind dagegen Flächen von 12 km<sup>2</sup> bzw. Entfernungen von bis zu 4,5 km erforderlich. Unter der Annahme, dass alle 1200 Bewohner der zwei Siedlungen 3% ihres jährlichen Kalorienbedarfs durch Fisch decken, ist dafür eine Seefläche von 11,4 km<sup>2</sup> erforderlich. Durch die schmale Form des Zürichsees bedingt ergibt sich daraus eine maximale Distanz von 6 km. Für die Jagd sind in diesen Szenarien zwischen 260 und 300 km<sup>2</sup> erforderlich – der hohe Flächenbedarf kann nicht auf der Fläche der Fallstudie gedeckt werden, weshalb die Fläche für die Jagd nicht mehr als Radien erkennbar ist, sondern den Rahmen der Darstellungen rot umrandet.

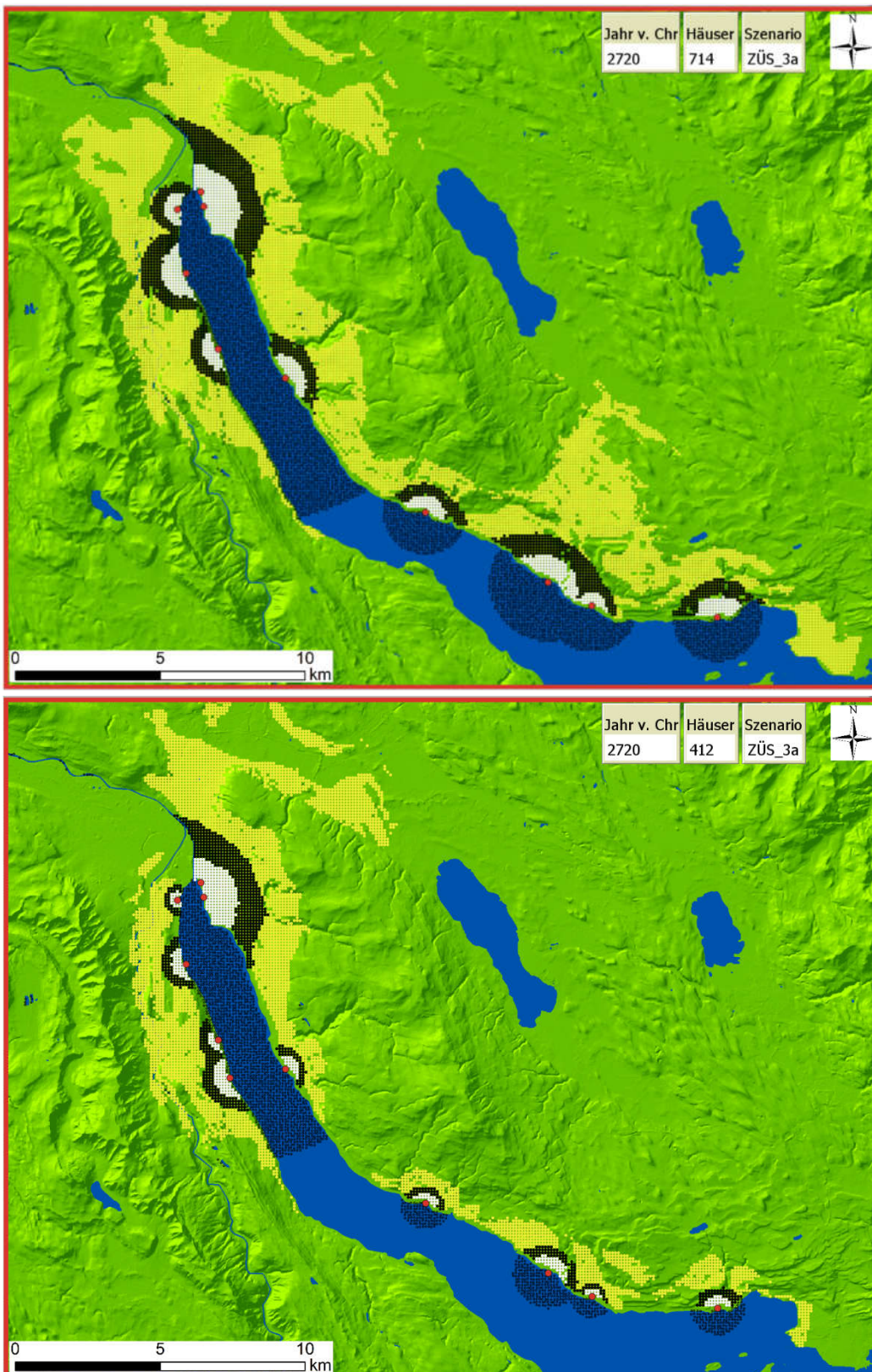


Abb. 56 : a,b: Simulation des Flächenbedarfs von 11 schnurkeramischen Siedlungen um 2720 v. Chr. für Brandfeldbau (gelb), Viehhaltung (weiß), Brennholzgewinnung (schwarz) und Jagd (rot) sowie Fischfang im Szenario ZÜS\_3a. Die Siedlungen sind mit einem roten Punkt markiert. Variante 1 (oben) geht von höherer Besiedlungsdichte aus als Variante 2 (unten)

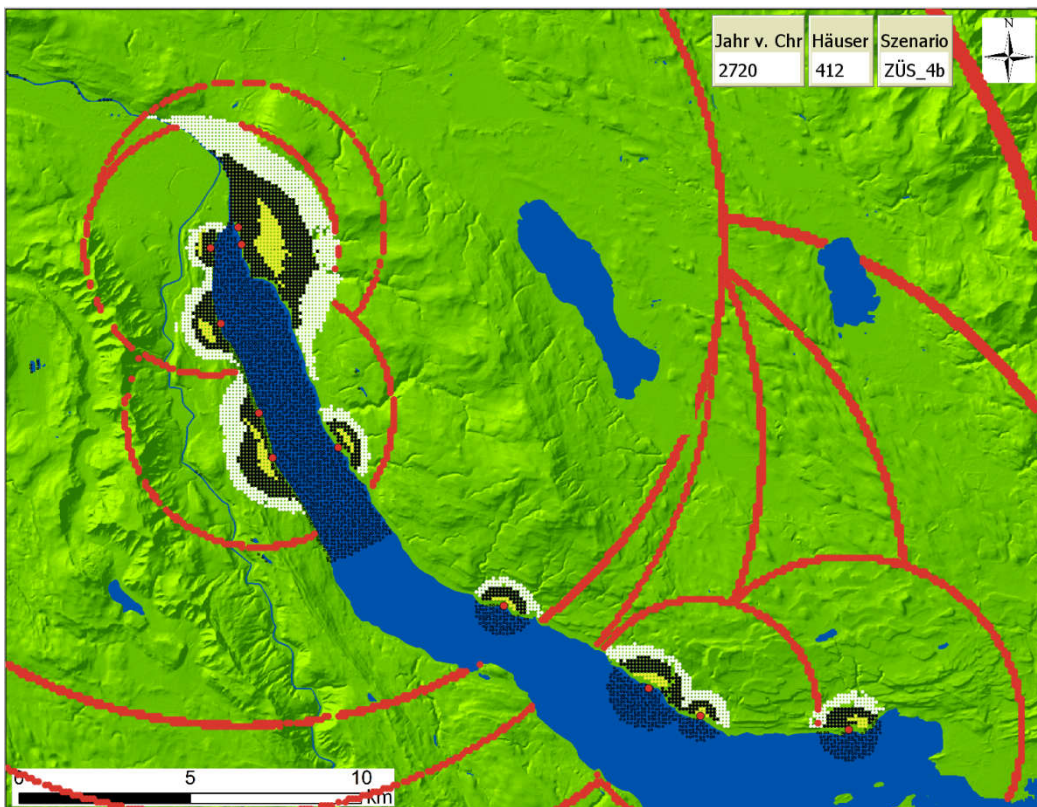
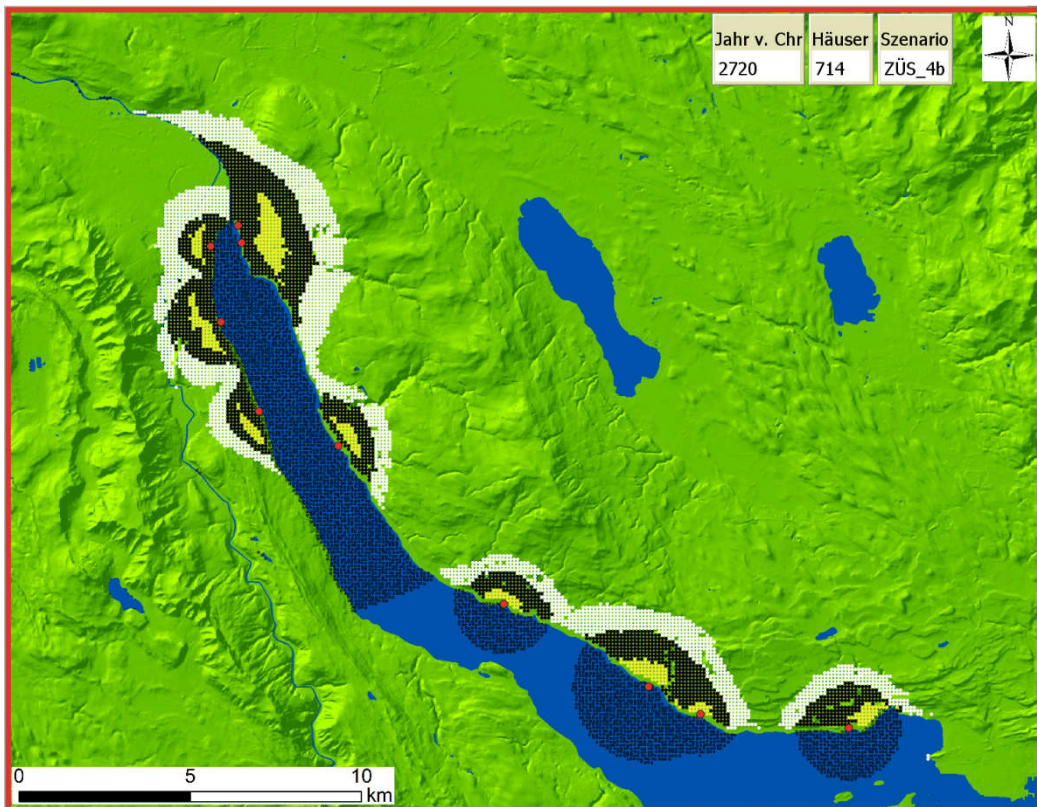


Abb. 57 : a,b: Simulation des Flächenbedarfs von 11 schnurkeramischen Siedlungen um 2720 v. Chr. für gartenähnlichen Feldbau (gelb), Viehhaltung (weiß), Brennholzgewinnung (schwarz) und Jagd (rot) sowie Fischfang im Szenario ZÜS\_4b. Die Siedlungen sind mit einem roten Punkt markiert. Variante 1 (oben) geht von höherer Besiedlungsdichte aus als Variante 2 (unten)

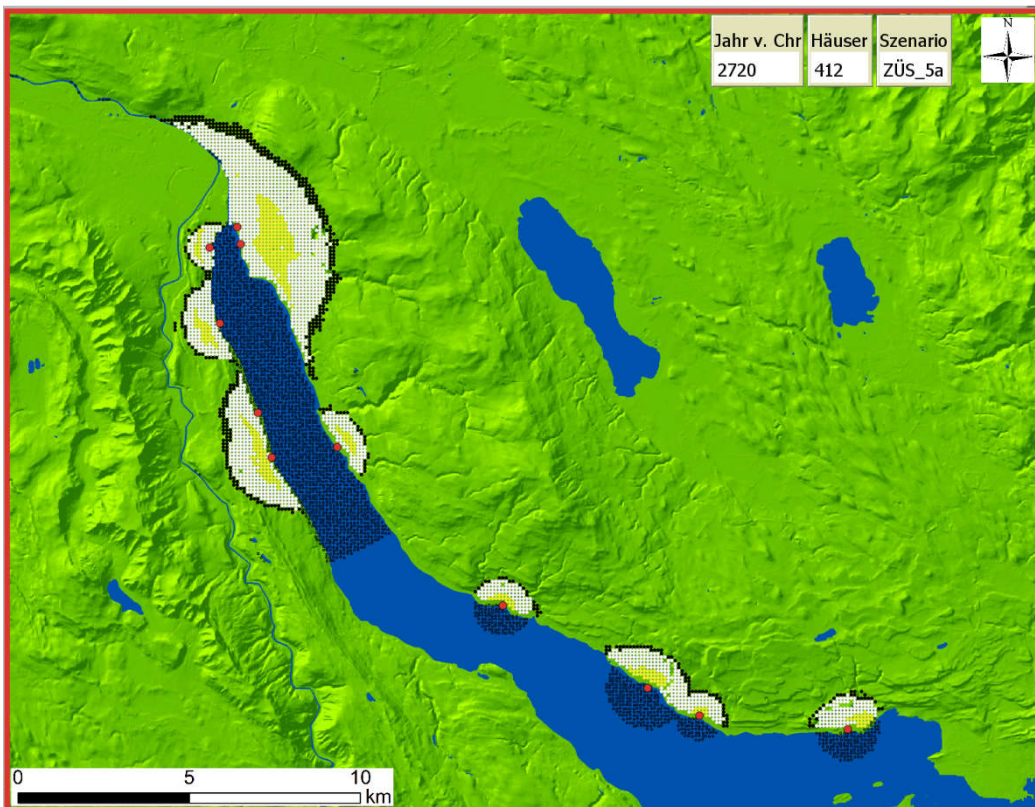
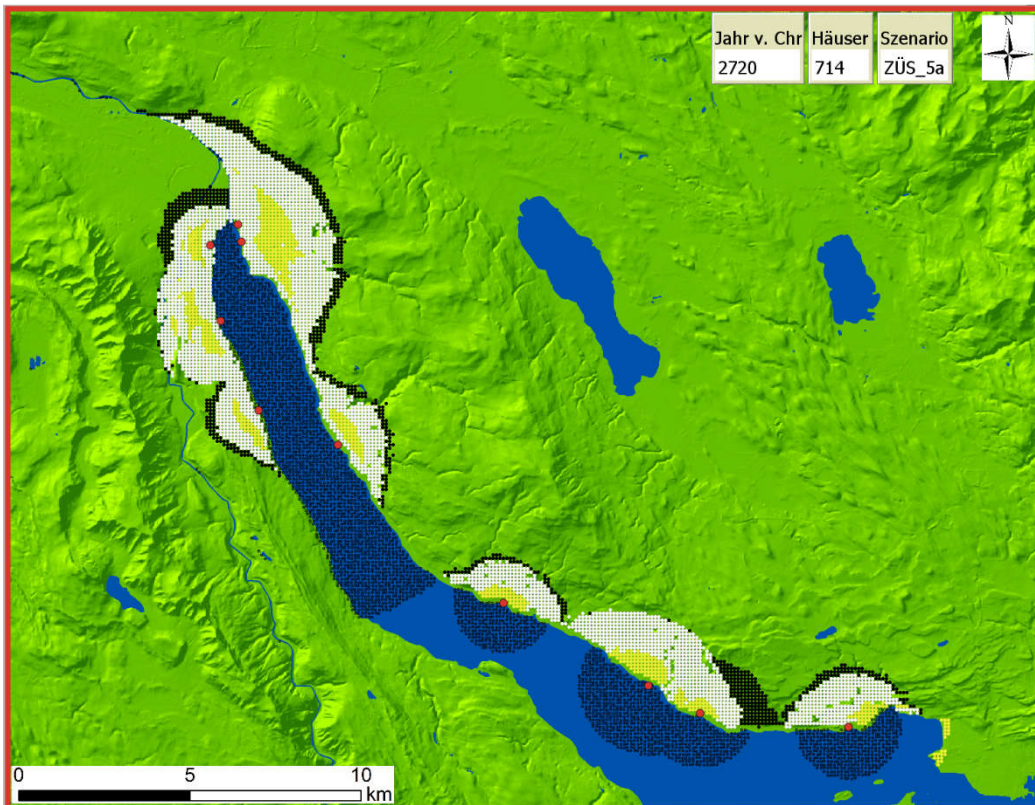


Abb. 58: a,b: Simulation des Flächenbedarfs von 11 schnurkeramischen Siedlungen um 2720 v. Chr. für gartenähnlichen Feldbau (gelb), Viehhaltung (weiß), Brennholzgewinnung (schwarz) und Jagd (rot) sowie Fischfang im Szenario ZÜS\_5a. Die Siedlungen sind mit einem roten Punkt markiert. Variante 1 (oben) geht von höherer Besiedlungsdichte aus als Variante 2 (unten)

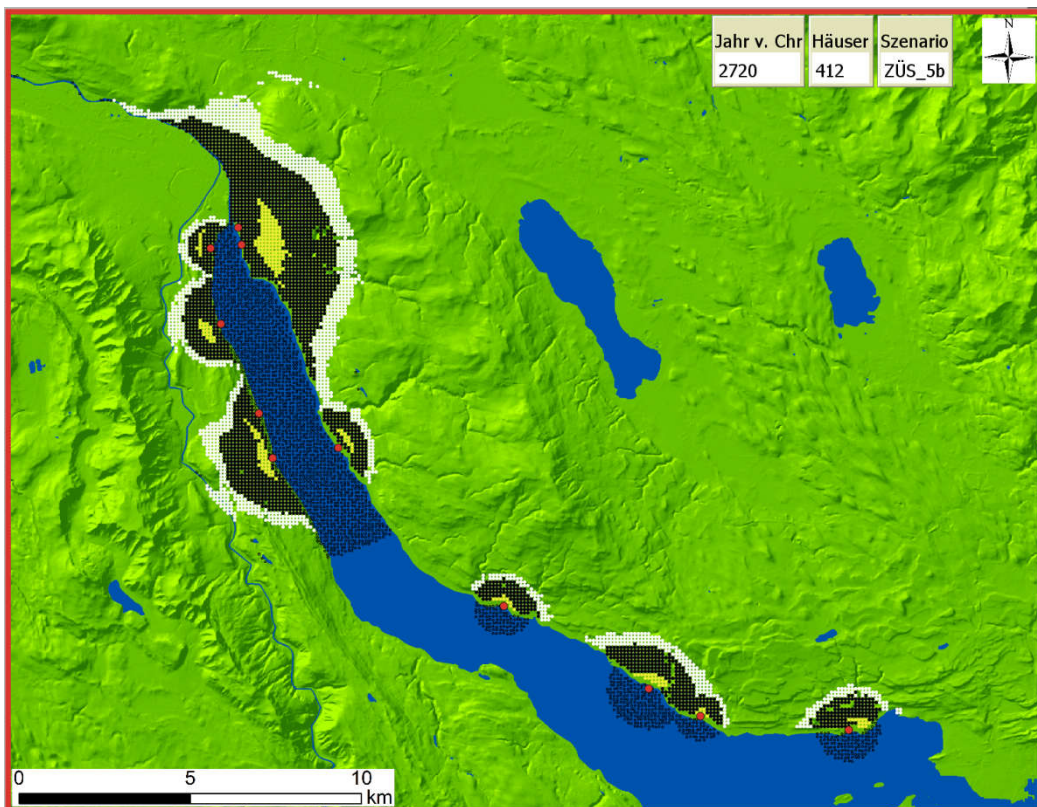
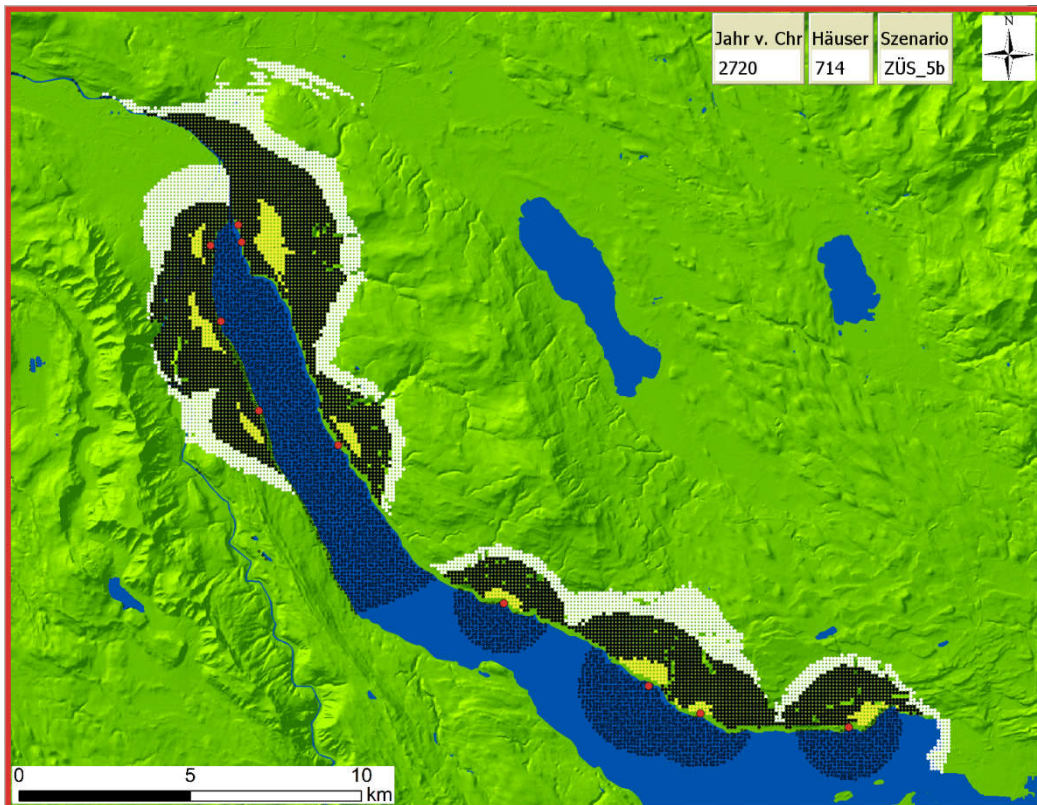


Abb. 59: a,b: Simulation des Flächenbedarfs von 11 schnurkeramischen Siedlungen um 2720 v. Chr. für gartenähnlichen Feldbau (gelb), Viehhaltung (weiß), Brennholzgewinnung (schwarz) und Jagd (rot) sowie Fischfang im Szenario ZÜS\_5b. Die Siedlungen sind mit einem roten Punkt markiert. Variante 1 (oben) geht von höherer Besiedlungsdichte aus als Variante 2 (unten)



Tab. 40: Summierter Flächenbedarf und maximale Distanzen für ökonomische Aktivitäten in den schnurkeramischen Siedlung KanSan Seefeld\_E2-3\_AKAD C2 (2718-2710 v. Chr.) mit angenommenen 200 Häusern (1200 Bewohnern) und verschiedenen Szenarien (siehe Tab. 37)

Szenario	Feldbau		(Wald-)Weide		Brennholz		Fischfang		Jagd
	Fläche	Dist.	Fläche	Dist.	Fläche	Dist.	Fläche	Dist	Fläche
ZÜS_3b	32 km <sup>2</sup>	7,5 km	2,6 km <sup>2</sup>	1,8 km	7 km <sup>2</sup>	3 km	11,4 km <sup>2</sup>	2,2 km	164 km <sup>2</sup>
ZÜS_4b	1,5 km <sup>2</sup>	1,7 km	12 km <sup>2</sup>	5,2 km	5,1 km <sup>2</sup>	2,6 km	11,4 km <sup>2</sup>	2,2 km	280 km <sup>2</sup>
ZÜS_5a	1,9 km <sup>2</sup>	2,4 km	8 km <sup>2</sup>	3,9 km	12 km <sup>2</sup>	4,5 km	11,4 km <sup>2</sup>	2,2 km	300 km <sup>2</sup>
ZÜS_5b	1,5 km <sup>2</sup>	1,7 km	18 km <sup>2</sup>	5,3 km	11 km <sup>2</sup>	4,5 km	11,4 km <sup>2</sup>	2,2 km	300 km <sup>2</sup>

## 9.5 Fazit zur Fallstudie ZÜRISIMO

Für drei unterschiedliche Zeiträume wurden Simulationen des Flächenbedarfs von Feuchtbodensiedlungen oder Siedlungsagglomerationen in der Region Zürichsee-Greifensee-Pfäffikersee durchgeführt. Dabei wurde ein Zeitraum mit geringer Bevölkerungsdichte und weit auseinander liegenden Siedlungen (Kap. 9.4.1) zwei Perioden mit deutlich höherer Bevölkerungsdichte gegenübergestellt (Kap. 9.4.2 und 9.4.3). Die Frage, ob die zur Verfügung stehende Fläche für den Feldbau generell als limitierender Faktor der Besiedlung gewirkt haben könnte, muss für den Fall von permanentem, gartenähnlichem Feldbau für alle Szenarien mit Nein beantwortet werden. Selbst für die große schnurkeramische Siedlung auf stadtzürcher Gebiet sind lediglich Entfernungen von max. 2,4 km erforderlich, was einer Gehzeit von etwa 30 Minuten entspricht. Allerdings ist diese Frage in dieser Form auch nicht sonderlich zielführend, weil die Erträge durch verschiedene Einflussgrößen starken Schwankungen unterworfen sind. Immerhin kann gesagt werden, dass sich für die Siedlungen kein Zusammenhang zwischen Einwohnerzahl und dem maximal zur Verfügung stehenden feldbaueigneten Land herstellen lässt.

Mit Bezug auf die Brandverfahren muss differenziert werden: Im ersten Zeitraum (3903 v. Chr.) sind alle dargestellten Szenarien vorstellbar. Zwar ist der Flächenbedarf für Brandfeldbau hoch, die resultierenden Entfernungen scheinen aber nicht unmöglich. Dagegen ist sowohl für die (hypothetische, weil in dieser Form archäologisch nicht belegte) Siedlungsagglomeration um 3750 v. Chr. als auch für die (archäologisch nachgewiesene) hohe Besiedlungsdichte der Schnurkeramik um 2720 v. Chr. schwer vorstellbar, dass die Bewohner der Siedlungen die weiten Entfernungen von 5-10 km zu den Brandfeldflächen auf sich genommen hätten, wenn doch außer den Bränden auch andere Möglichkeiten der Ertragssteigerung bzw. -Erhaltung bekannt waren oder zumindest deren zugrunde liegende Verfahren nachweislich existierten (Mistdüngung, Brachflächen, Anbau von Leguminosen). Die genannte Distanz von 5-10 km stellt zudem den absoluten Minimalbetrag unter der eher unwahrscheinlichen Annahme einer lückenlosen Eignung der Landschaft für Brandfeldbau dar. Somit muss die tatsächliche Entfernung noch um einen bestimmten Betrag höher angenommen werden.

Generell kann festgestellt werden, dass sich die in ZÜRISIMO verwendete Auflösung von 100 Metern vor allem für die Abbildung bestimmter Zusammenhänge auf landschaftlich größerer Ebene anbietet. Die Aussagemöglichkeiten bezüglich konkreter Siedlungsumgebungen sind jedoch stark eingeschränkt, weil lokale Verhältnisse durch die grobe Rasterung nicht in ausreichender Genauigkeit abgebildet werden können. Das Gleiche gilt für die Ableitung von Ergebnissen aus dem Modell – letztlich kann bei einer Auflösung von 100 m kaum mehr von einer tatsächlichen Simulation gesprochen werden. Somit sollten die beiden Auflösungen von 25 und 100 m im Idealfall komplementär verwendet werden: Eine Auflösung von 25 m hat sich als geeignet herausgestellt, um ein Modell der Land-

nutzung zu entwickeln, welches anschließend auf größerer Ebene mit geringerer Auflösung angewendet werden kann.

## 10 Synthese und Formulierung eines alternativen Modells

Unter Einbeziehung der in dieser Arbeit durchgeführten und vorgestellten Simulationen und Berechnungen werden im Folgenden einige Fragen diskutiert, die für die aktuelle Diskussion in der feuchtbodenarchäologischen Forschung von besonderem Interesse sind.

### 10.1 Ist der Brandfeldbau geeignet als Modell für den Getreideanbau in der Untersuchungseinheit?

Eine der zentralen Fragen hinter dieser Arbeit ist, ob sich aus der agentenbasierten Simulation der Landnutzung mit den Modellen WELASSIMO\_feldbau und WELASSIMO\_fläche Aussagen über die Validität der beiden Hypothesen zum jung- bis endneolithischen Getreideanbau, Brandfeldbau und Gartenähnlicher Feldbau, ableiten lassen. Wie schon unter Kap. 7.6 erwähnt, kann auf Basis der Simulation kein Modell falsifiziert werden. Theoretisch sind beide Verfahren denkbar, jedoch ergeben sich Argumente aus den hier erzielten Ergebnissen, welche einen überwiegenden Brandfeldbau als fraglich erscheinen lassen. Diese werden im Folgenden gemeinsam mit Ergebnissen aus weiteren Untersuchungen diskutiert.

Zuletzt wurden umfangreiche Publikationen vorgelegt, welche die Plausibilität des Brandfeldbaus als Modell für die Feuchtbodensiedlungen einerseits in Frage stellen (Jacomet et al. 2016) oder sie andererseits zu bekräftigen suchen (Schier 2017; Ehrmann et al. 2014; Rösch et al. 2014). Die beiden Modelle wurden bereits in der Einleitung besprochen und an mehreren Stellen diskutiert. Die Argumentation soll hier kurz zusammengefasst und anschließend um eigene Erkenntnisse aus der vorliegenden Arbeit erweitert werden. Als Argumente für den Brandfeldbau gelten nach Rösch et al. (2014) der Nachweis eines sehr wahrscheinlich durch anthropogene Brände auf Landschaftsebene hervorgerufenen Vegetationstyps, das Fehlen weitgehend offener Vegetation, die Armut an tatsächlichen Ackerunkräutern in den Getreidefunden, und ein hoher Anteil von Nacktweizen in den On-site Pflanzenresten.

Zudem sei das Verfahren nach Ehrmann et al. (2014) unter Verwendung neolithischer Möglichkeiten auf „nicht-optimalen Böden“ (die folglich für das Alpenvorland postuliert werden) die beste, wenn nicht gar die einzig mögliche Methode, um Getreidebau erfolgreich durchzuführen. Diese Argumente werden in Jacomet et al. (2016) unter Einbeziehung eines umfangreichen Datenbestandes kritisch diskutiert und letztlich abgelehnt. Die Nachweise von anthropogenen Bränden – Mikroholzkohle-peaks und typische Muster in der Vegetationsentwicklung – werden zwar vollumfänglich anerkannt. Jedoch sei der genannte Vegetationstyp ohne weiteres als Folge gezielter Brände zur Erhöhung der ökonomischen Wertigkeit einer Fläche für die Viehweide, eventuell auch für die Jagd sowie für das Sammeln von Wildpflanzen zu sehen; die postulierte Armut an Ackerunkräutern ließe sich aus archäobotanischer Sicht nicht bestätigen.

Die Böden im Alpenvorland sind im wesentlichen Parabraunerden aus Geschiebemergeln, die zwar weniger fruchtbar sind als Parabraunerden oder schwarzerdeähnliche Böden in den teilweise lössgeprägten Altsiedellandschaften, aber in keiner Weise als für den Ackerbau ungeeignet gelten können.

Warum ein hoher Anteil an Nacktweizen ein Argument für Brandfeldbau sein sollte, wird selbst in Rösch et al. (2014) nicht weiter spezifiziert – es sei denn man liest seinen Hinweis darauf, dass es sich dabei um eine Art mit hohen Ansprüchen an Boden und Lichtgenuß handelt als ein solches. Da aber im Untersuchungsgebiet weder die Sonneneinstrahlung besonders gering noch die Bodeneigenschaften besonders ungeeignet sind (s.u.), kann dem Argument nicht gefolgt werden.

Für die Simulation von Getreideerträgen in Kap. 6 wurden die chemischen Eigenschaften einer typischen Parabraunerde des Alpenvorlandes aus Geschiebemergel über Molasse zugrunde gelegt. Aus den Ergebnissen geht klar hervor, dass deren Fruchtbarkeit keineswegs als so gering eingeschätzt werden kann, dass sich die These von unzureichender Bodeneignung für alle Verfahren außer dem Brandfeldbau halten ließe. Im Gegensatz zu den bei Ehrmann et al. (2009) beschriebenen, vielfach höheren Erträgen beim Brandfeldbau liegen die simulierten Erträge im Brandfeldbau nach den hier erzielten Ergebnissen zwar immer noch deutlich, aber eben im Mittel nur um den Faktor 2-3 über denen des permanenten Anbaus.

Die generell hohe feldbauliche Eignung der Parabraunerden im Alpenvorland (speziell im westlichen Bodenseegebiet) geht auch aus Abb. 60 hervor: die Abbildung zeigt zwei Ausschnitte der Rasterkarte des „Müncheberg Soil Rating“ (Müller et al. 2007), einer für ganz Deutschland erhobenen Datengrundlage, welche die Bodenfruchtbarkeit als Prozentwert von 100 darstellt. Die Abbildungen zeigen zum einen das Umfeld der Lokalität der Anbauversuche in Forchtenberg (Rösch et al. 2002), zum anderen das Gebiet des Hegau zwischen westlichem Bodensee und südöstlichem Schwarzwald. Während die Werte am westlichen Bodensee durchweg im Bereich 60-80 und damit in dem als „gut“ definierten Bereich liegen, kommen im Umfeld der Forchtenberg-Versuche sowohl Flächen vor die als „gut“ bezeichnet werden, aber auch weite Bereiche, die mit einer Zahl von 15-30 als sehr schlecht bis schlecht bewertet werden

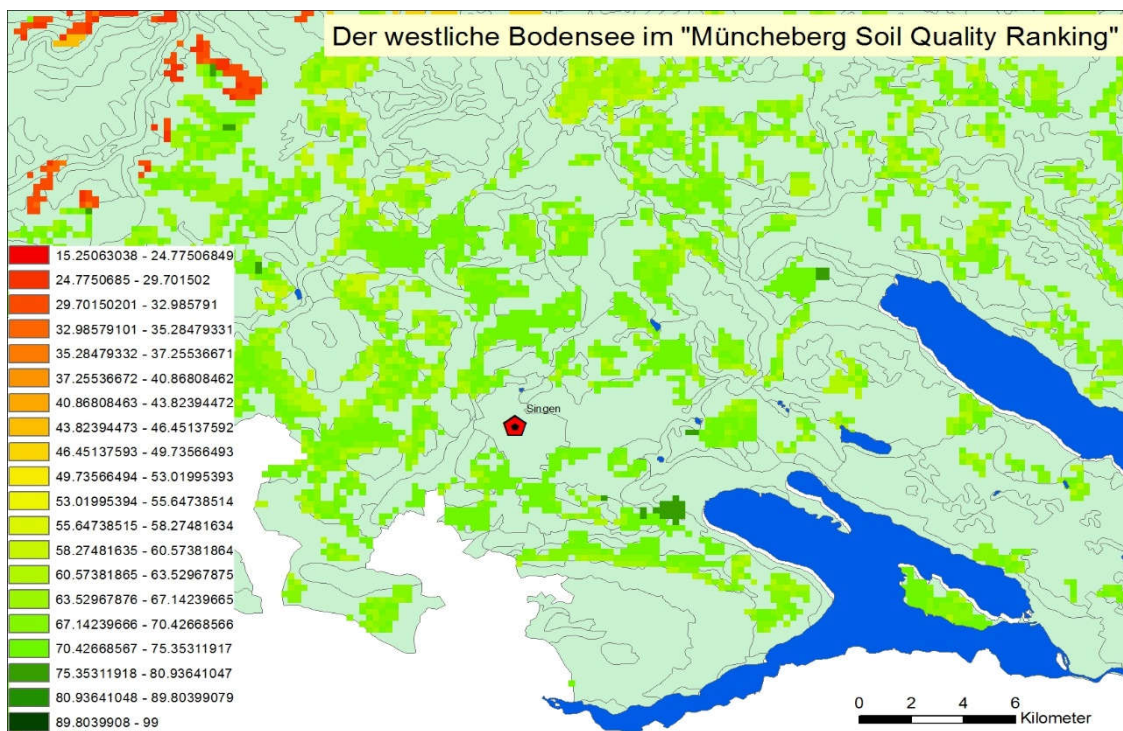
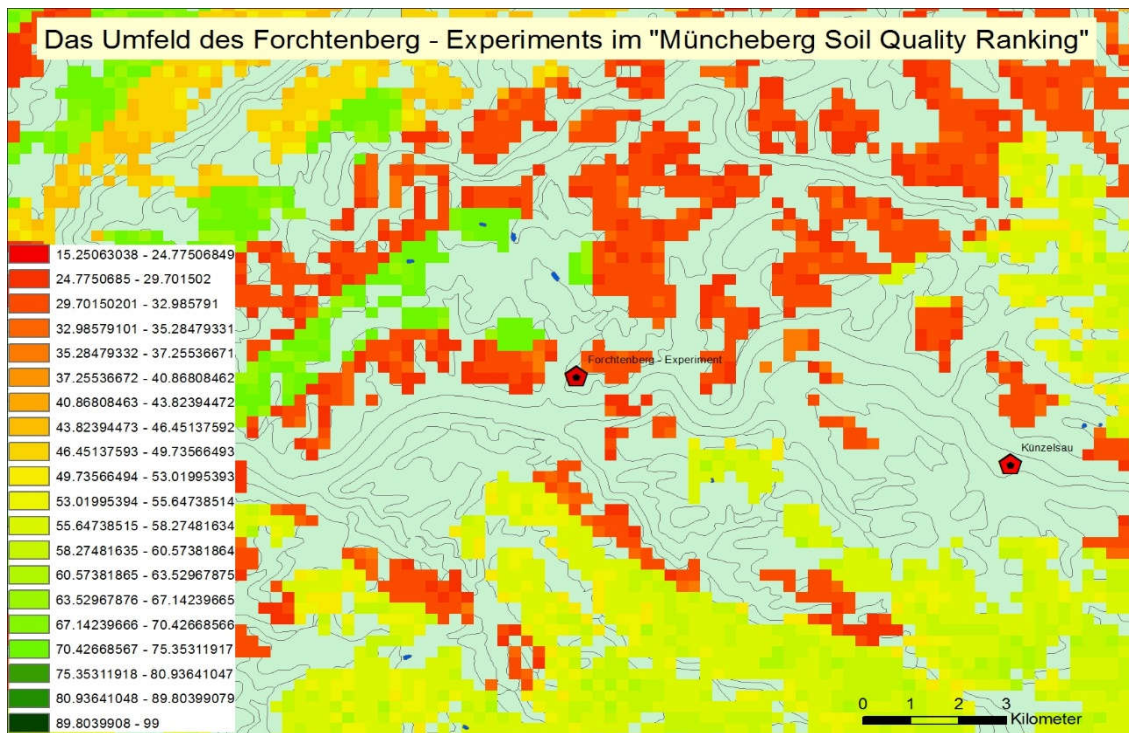


Abb. 60: Zwei Ausschnitte der Rasterkarten des „Müncheberg Soil Rating“ in der Umgebung experimentarchäologischen Versuche in Forchtenberg und am westlichen Bodensee

Eine Eigenschaft von permanenten Anbauverfahren sind die mit fortgesetzter Dauer des Anbaus fruchtbarkeitsbedingt abnehmenden Erträge, was wegen der Verlegung der Felder im Brandfeldbau (bei ausreichend langer Brachdauer) nicht zutrifft. Dieser Vorteil wiegt jedoch nicht sehr schwer, wenn man die Produktivität der Verfahren vergleicht: Hier liegen die Brandverfahren deutlich unter den permanenten Verfahren, was zuvorderst in der sehr viel höheren Arbeitsbelastung für das Über-

brennen der Flächen sowie der angenommenen Notwendigkeit des jährlichen Neubaus von Zäunen begründet ist. Wenn man diese – entgegen ethnologischer Belege, z.B. (z.B. Bose 1967, S.68; Jepsen et al. 2006; Schott 1936, S. 158). – wegen mangelnder archäologischer Nachweise als nicht erforderlich betrachtet, wäre im Mindesten eine Annahme vom Schutz der Flächen durch physische Anwesenheit von Menschen erforderlich. Dann wirkt sich die Eigenschaft des Brandfeldbaus stark aus, einen enormen Flächenbedarf und damit weite Entfernungen zu den Feldflächen zu erfordern.

Wenn eine dauerhafte, auch nächtliche Bewachung entfernt gelegener Feldflächen für kleine Siedlungen von 10-20 Häusern eventuell machbar, jedoch bereits schwer vorstellbar ist (Abb. 52), führt diese Annahme bei großen Siedlungen oder Agglomerationen (Abb. 53) zu täglich zurückzulegenden Wegstrecken von 5-10 km (ein Weg). Dies ist grundsätzlich keine unüberwindbare Entfernung, man kann sich natürlich auch vorstellen dass die Personen bei den Feldern übernachteten. Jedoch muss gefragt werden, welchen Vorteil eine solche Praxis bieten würde. Diesen Daten liegt die absolut minimale Fläche zugrunde, die für ein Brandverfahren errechnet werden kann, wenn ausschließlich für das Verfahren geeignete Baumbestände angenommen werden; wie in Kap. 7.5.2.3 gezeigt wurde, muss bei Annahme eines geringeren Anteils solch geeigneter Vegetation von einem nochmals wesentlich größeren Flächenbedarf ausgegangen werden.

Ein weiterer Zusammenhang, der meines Erachtens gegen die Hypothese des Brandfeldbaus spricht, ist die Nutzungskonkurrenz, die sich aus dem Holzbedarf für die Brandverfahren einerseits und einer ganzen Zahl an weiteren Aktivitäten andererseits ergibt. Da für das Brandverfahren vornehmlich junge Bäume bis maximal Armdicke geeignet sind (Ehrmann et al. 2009 S. 58), würden hier die zukünftigen Bauhölzer verbrannt. Auch wenn man von der Möglichkeit ausgeht, dass Bauhölzer gezielt geschont wurden und nicht für den Brand verwendet wurden, besteht ein Nutzungskonflikt um Holz wegen des Bedarfs an Brennholz. Dieser konnte für ein Haus unter Verwendung sowohl von Totholz als auch von gefälltem Holz auf mindestens 2-4 ha pro Haus und Jahr berechnet werden.

Um das Aufwachsen von neuer Vegetation nicht zu behindern, müsste die intensive Beweidung der Flächen mit Rindern unterbleiben. Wenn Haselnusssträuchern auf 10-30 Jahre zuvor mit Feuereinsatz geöffneten Flächen ein hoher Wert für die Kalorienversorgung zugemessen wird, dann wurden vermutlich auch diese Flächen nicht gerne dem Verfahren geopfert. Dies gilt umso mehr wegen der Erfordernisse eines insgesamt wesentlich höheren Arbeitsbedarfs beim Brandfeldbau, als wenn man das Getreide fortdauernd auf den einmal von Vegetation befreiten Flächen anbauen würde. Für den Zweck der Förderung des Haselwachstums könnten dennoch jedes Jahr ein paar Flächen, die aber um ein vielfaches kleiner als die für Brandfeldbau erforderlichen sein könnten, mit Feuereinsatz geöffnet werden. Dies hätte den bereits oben erwähnten Effekt eines erhöhten Lichteinfalls und einer insgesamt erhöhten Primärproduktivität. Bei einem um 20% erhöhten Anteil von Sekundärwaldflächen könnte sich der Flächenbedarf für die Rinderweide und für das Sammeln von Wildpflanzen um 10-20% verringert haben (Tab. 35).

Eine spannende Frage ist, ob sich die Dynamik des Brandfeldbaus mit der archäologisch und dendrochronologisch dokumentierten Besiedlungsdynamik in Deckung bringen lässt. Man könnte als Arbeitshypothese wie folgt formulieren: Wenn auch für große Siedlungsgemeinschaften das Modell wegen des dann immens hohen Flächenbedarfs und der Nutzungskonflikte zwischen Brandfeldflächen einerseits und Bauholz/Brennholz/Weidefläche andererseits als unwahrscheinlich betrachtet werden kann, so könnte Brandfeldbau für kleine Gemeinschaften von 5-10 Häusern durchaus ein tragfähiges Modell darstellen. Dann wären Flächenbedarf und Entfernungen ja insgesamt deutlich geringer und würden vermutlich nicht so sehr ins Gewicht fallen. Da die typische Nutzungsdauer von Feuchtbodensiedlungen im Untersuchungsgebiet nach Ebersbach (2010a S. 60) 5-12 Jahre beträgt, könnte diese kurzlebige Siedlungsweise durch die Erfordernisse des Brandfeldbaus erklärbar sein. Allerdings

würde gerade aus dieser Annahme ein Paradoxon entstehen: wie oben diskutiert wurde, erhöht sich der ökonomische Wert einer Landschaft in Bezug auf bestimmte Ressourcen mit der Dauer bzw. der Intensität der Nutzung (so für das Sammeln von Wildpflanzen und die Viehweide). Daraus leitet sich die Frage ab, warum nach Ablauf einer Periode, in der auf den ehemaligen Feldflächen gerade wieder ausreichend Holz mit Stärke +/- Armdicke für ein Brandverfahren nachgewachsen wäre, und zudem die genannten positiven Effekte der Erhöhung der ökonomischen Wertigkeit wirken würden (hier mit 8-15 Jahren angenommen), die Siedlungen typischerweise verlegt werden?

Wenn man der Logik des Verfahrens folgt, dann wäre bei kleinen Siedlungen ein Modell wesentlich wahrscheinlicher, in welchem eine größere Ortskonstanz der Siedlungen zu beobachten wäre. Daraus kann abgeleitet werden, dass das Brandfeldbaummodell auch für die Frage der hohen Besiedlungsdynamik keine geeigneten oder zumindest keine zwingenden und widersprüchlichen Erklärungen anzubieten vermag. Stattdessen bieten sich eine ganze Reihe an alternativen Entstehungsweisen für das beobachtete Muster an (siehe dazu auch Jacomet et al. 2016 S. 11), die am Ende des folgenden Kapitels 10.2 mit einem bislang wenig diskutierten, dabei eigentlich naheliegenden möglichen Grund gemeinsam diskutiert werden; dies ist die auch in dieser Arbeit wiederholt diskutierte Verarmung der Bodenfruchtbarkeit nach wenigen Jahren.

Der zentrale Befund, welcher die Hypothese stützt – der hohe Anteil an jungen Sekundärwaldflächen, die vermutlich durch anthropogene Brände ausgelöst wurden – wird von der Ablehnung des Modells nicht berührt, lediglich seine Interpretation. Er ist durch zahlreiche Untersuchungen und Jahrzehnte der Forschung gut dokumentiert. (z.B. Rösch 1987; Rösch und Lechterbeck 2016).

## **10.2 Ist der permanente Gartenfeldbau ein besser geeignetes Modell für den Getreideanbau?**

Die von archäobotanischer Seite vorgebrachten Argumente für die Herkunft der identifizierten Ackerbegleitflora aus permanent bewirtschafteten Feldern werden von Wissenschaftlerinnen geteilt, die sich ebenfalls seit Jahrzehnten mit dieser Frage auseinandersetzen. Dabei bestätigen sich die mit der Analyse funktionaler Pflanzenattribute (FIBS, z.B. Bogaard 2004; Jones 2002) gemachten Befunde und diejenigen der „klassischen“ archäobotanischen Analyse (z.B. Hosch und Jacomet 2004; Jacomet et al. 1989; Maier 1999) in diesem zentralen Punkt gegenseitig. Dies sind insbesondere:

- 1) die Standorteigenschaften der Böden, die nach Jacomet et al. (2016) die lokal jeweils besten und ertragsfähigsten waren, und
- 2) der durchgehend hohe Anteil an annuellen Ackerbegleitpflanzen, der auf stark gestörte (also gejätete) Bedingungen auf permanent bewirtschafteten Feldflächen hindeutet, die eventuell durch Brachen von nicht mehr als 1-2 Jahren unterbrochen wurden.

Dieser Nachweis für eben diesen zentralen Punkt: der Permanenz der Feldbauflächen für mindestens mehrere Jahre, bedingt für mich eine hohe Plausibilität eines permanenten, gartenähnlichen Feldbaus als Modell für den Anbau von Getreide in den Feuchtbodensiedlungen. Dieser Befund kann nicht in Übereinstimmung mit der Annahme jährlich verlegter Feldflächen gebracht werden, weil sich hier die annuellen Pflanzen nicht etablieren oder behaupten könnten. Nicht ausgeschlossen werden kann dagegen ein Nebeneinander der Modelle mit geringerer Bedeutung des Brandfeldbaus oder ein mehrjähriger Anbau auf unter Feuereinsatz geöffneten Flächen, ebenso wie dadurch die Belege für häufige Feuer in der Landschaft nicht negiert werden. Unklar hingegen ist meines Erachtens die Intensität des Anbaus besonders im Hinblick auf den Düngeeinsatz. Zwar können Styring et al. (2016) diesen für Hornstaad-Hörnle 1A und Sipplingen-Osthafen belegen, jedoch sprechen die archäozoolo-

gisch ermittelten mittleren Individuenzahlen gegen eine hohe Viehbestandesdichte; nach Ebersbach beträgt der Median pro Haus nur 0,88 Tiere. Die Frage der Ställe oder Pferche ist ungeklärt, wenn auch z.B. in Arbon-Bleiche 3 ein solcher Befund diskutiert wird (Leuzinger 2000, S. 63-64). Sehr wahrscheinlich wurde der verfügbare Mist als wertvolle Ressource geschätzt und daher auch genutzt, aber dass er in der oben angenommenen Höhe von 10 t/ha/Jahr für größere Flächen vorhanden war, ist sehr unwahrscheinlich. Die Annahme eines Tiers pro Haus würde bei (unwahrscheinlicher, weil vermutlich nicht möglicher) Nutzung des gesamten im Jahresverlauf anfallenden Mistes eine Düngung von nur 0,15 ha Fläche ermöglichen. Daher tendiere ich zu der Annahme einer sehr geringen Bedeutung der Mistdüngung. Über des Einsatz von Brachen oder die Nutzung der ertragsfördernden Wirkung eines kombinierten Anbaus mit Leguminosen kann hingegen noch keine verlässliche Aussage getroffen werden.

Unter dieser Voraussetzung ist ein permanenter Getreideanbau auf wenig bis nicht gedüngten Flächen das derzeit plausibelste Modell des Getreideanbaus in den Jung- bis endneolithischen Feuchtbodensiedlungen. Damit ist der wahrscheinlichste Verlauf der mittleren Erträge während des Nutzungszeitraumes der Siedlungen durch den Kurvenverlauf des Versuchs V6 in Abb. 12 beschreibbar. Daraus ergibt sich ein sehr interessanter, bislang kaum diskutierter Erklärungsansatz für das oben genannte Phänomen der hohen Besiedlungsdynamik mit einer typischen Lebensdauer der Siedlungen von 5-12 Jahren. Wie dort zu sehen ist, nehmen die Getreideerträge ohne Düngung gerade während der ersten Jahre des Anbaus deutlich ab, während die Kurve danach abflacht.

So sinken die Erträge im Verlauf von 10 Jahren um etwa 40% ab. Wenn man der geäußerten Ansicht zur sehr geringen Bedeutung der Mistdüngung folgt und den möglichen Effekt eventuell angewendeter alternativer Maßnahmen zur Erhaltung der Feldfruchtbarkeit als gering bis mittel einstuft, so kann postuliert werden, dass sich die kausale Verknüpfung der Fortdauer der Besiedlung mit der Abnahme der verzehrbaren Getreidemenge in das kollektive Bewusstsein der Bewohner der Feuchtbodensiedlungen eingeprägt hat. Wie schon oben möchte ich in diesem Zusammenhang nochmals auf die bei Schott (1936 S. 47) zitierte Analogie der Siedlungsdynamik bei den Huronen im südlichen Ontario (ein Gebiet, in welchem pedologisch ähnliche Bedingungen wie im glazial geprägten Alpenvorland auftreten: Henderson und Kettles (1992)) verweisen, die ihre Siedlungen nach 10-12 (20) Jahren wegen des kombinierten Effektes von Abnahme der Brennholzverfügbarkeit und abnehmender Feldfruchtbarkeit verlegten.

### **10.3 Skizzierung eines neuen Modells des sozio-ökologischen Systems der Feuchtbodensiedlungen im nordwestlichen Alpenvorland: integrierter Waldfeldbau**

Die Grundlagen von Ökonomie und Lebensweise in den Feuchtbodensiedlungen waren durch die qualitativen und quantitativen Eigenschaften der sie umgebenden Landschaft mitgeprägt. Diese sind im Wortsinne als Land-Schaften zu verstehen, als geschaffenes Land: also keineswegs als statische Elemente, sondern als hoch dynamische Zustände des Zusammenspiels natürlicher und anthropogen bedingter Prozesse. Diese werden dabei von den ökonomischen Aktivitäten der menschlichen Landnutzung als Elemente des Subsistenzsystems bewirkt. Landschaftsprägend wirkmächtig sind insbesondere der grösserskalige Einsatz von Feuer, der Getreideanbau, die Viehhaltung sowie die Brenn- und die Bauholzgewinnung, und in etwas geringerem Ausmaße auch das Sammeln von Wildpflanzen, das Fischen und die Jagd. Diese Landnutzungsverfahren sind durch verschiedene archäologische und naturwissenschaftliche Disziplinen belegt. Die landschaftlichen Prozesse, die durch die genannten Nutzungsweisen ausgelöst werden, können in zwei Kategorien unterteilt werden: in eine intentionelle und eine nicht-intentionelle. Daraus folgt, dass die natürlichen Bedingungen in der Umwelt der

Menschen keinen immer gleichen und streng limitierenden Faktor der Lebensrealität darstellten, sondern dass die Vielfalt der natürlichen, der intentionellen und der nicht-intentionellen Prozesse – welche in ihrer Summe als das sozio-ökologische System der Siedlungen bezeichnet werden können – den vieldimensionalen Parameterraum bildeten, welcher die Bühne des menschlichen Lebens darstellte. Dieser wirkte sich auf ganz verschiedene Weisen aus, die räumlich und zeitlich hoch variabel waren. Er konnte unter bestimmten Umständen, räumlich und zeitlich begrenzt, limitierend wirken, indem bestimmte Ressourcen nicht unbegrenzt verfügbar waren.

Jedoch war diese Limitierung nie absolut und immer dynamisch, und konnte mittelfristig vom Menschen beeinflusst werden. Vor diesem Hintergrund sind die in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse zu verstehen. In Kap. 8.4 wurde ein Modell vorgestellt, welches den Flächenbedarf für ein Modellhaus unter Annahme bestimmter landschaftlicher Rahmenbedingungen angibt. Dabei sind die in Tab. 35 angegebenen absoluten Werte keine definitive Aussage im Sinne eines „so war es“, sondern eine tendenzielle Aussage im Sinne eines „wenn, dann“. Die verschiedenen simulierten ökonomischen Szenarien in Tab. 24 erlauben in Kombination mit den landschaftlichen Szenarien in Tab. 22 eine Aussage über drei Bereiche in der Umgebung eines menschlichen Hauses der Feuchtbodensiedlungen, die sich als Nahfeld, Fernfeld und Jagdfeld bezeichnend lassen. Das Nahfeld als intensiv und regelmäßig genutzte Fläche bedeckt dabei eine Fläche von 3-7 (11) ha, während die Fläche für das Fernfeld zwischen 7 und 87 ha betragen kann; die Werte schwanken stark je nach zugrunde gelegtem Szenario. Für die Jagd wird eine Fläche von 1-2 km<sup>2</sup> berechnet.

Im Folgenden skizziere ich ein Modell aus den Ergebnissen dieser Arbeit unter Einbeziehung der Diskussion in den Kapiteln 10.1 und 10.2. Das Modell ist an einzelnen Häusern orientiert und beschreibt diese als die relevanten Einheiten. Das ist sicher nicht richtig, wie z.B. aus den Arbeiten von Doppler et al. (2013) abgeleitet werden kann. Zwischen den Häusern bestanden vielfältige soziale Beziehungen, so dass als handelnde Einheiten nicht nur die individuellen Häuser, sondern zusätzlich verschiedene übergeordnete Einheiten betrachtet werden müssen; möglicherweise fand auch ein Handeln auf individueller Ebene der Häuser gar nicht statt. Diese Erkenntnis steht jedoch nicht im Widerspruch mit dem hier angewendeten Vorgehen: Es wäre letztlich nur eine wesentlich detailliertere, aber auch ungleich komplexere Repräsentation der gleichen Zusammenhänge. Einschränkend muss jedoch gesagt werden, dass sich der Flächenbedarf dieser größeren Gruppen – Siedlungen, Familien, Verwandtschaftsverbände – wohl nur mäßig gut durch die Vervielfältigung des Flächenbedarfs eines Hauses darstellen lässt.

Wie oben diskutiert, halte ich den Getreideanbau auf permanent bewirtschafteten, nicht oder nur wenig gedüngten Feldern für das plausibelste Modell. (Der Einfachheit halber spreche ich die Kulturpflanzen nicht einzeln an, sondern subsummiere alle unter Getreide). Ich gehe davon aus, dass die Größe der Feldflächen nicht völlig frei schwankte, sondern dass sich in den meisten Fällen im Lauf der Zeit ein angestrebtes „Normalmaß“ herausgebildet hat (um das herum natürlich Schwankungen angenommen werden müssen). Dieses orientierte sich an der vorhandenen Arbeitskraft und einem angestrebten Anteil von Getreide an der Gesamternährung. Zwar lagen den Siedlern die Ertragsdaten und Produktivitätsanalysen nicht schwarz auf weiß vor. Jedoch ist davon auszugehen dass sich bäuerliches tradiertes Wissen schon damals entwickelt hat, und dass die Erfahrungen der vergangenen Generationen den folgenden in Form von Daumenregeln und allgemeinen Verfahrensweisen zur Verfügung standen.

Auch die im Umfeld der Siedlungen vorhandenen feldbaueigneten Flächen mögen die Feldfläche der individuellen Siedlungen mitbestimmt haben, jedoch kann eine absolute Limitierung durch diesen Faktor als unwahrscheinlich betrachtet werden. Selbst im Fall einer großen Siedlung in naturräumlich besonderer, weil tatsächlich durch die Topografie begrenzter Umgebung wie der in Abb. 32



simulierten Siedlung Sippligen-Osthafen Schicht 9 (3711-3709 v. Chr.) wäre die vorhandene feldbaugerechte Fläche nicht der zentrale limitierende Faktor. Wenn man postuliert, dass Überschussproduktion während des Untersuchungszeitraumes keine generell verfolgte Strategie war, dann wäre unter Annahme der in Kap. 6 errechneten Standardabweichungen der Getreideerträge von 25-30% eine mittlere Deckung von 70-75% des Jahreskalorienbedarfs über Getreide eine vorstellbare Größe. Danach würde, statistisch betrachtet, in 68% der Fälle die Bedeutung von Getreide zwischen etwa 50% und 100% gelegen haben. Wenn man dies als Ziel vermutet, und den Getreideertrag von 1000 kg zu Beginn des Anbaus auf einer Fläche zugrunde legt (siehe Abb. 21), ergibt sich daraus eine „normale“ Feldfläche von genau einem Hektar. Diese Fläche wäre nach Tab. 18 für die Mitglieder eines Modellhaushaltes ohne Probleme zu bearbeiten; mit Ausnahme der Erntezeit, wo etwa 9 Tagesstunden pro Monat anfallen, liegt die abzuleistende Arbeitsmenge je nach Monat zwischen 1 und 5 Stunden.

Die Deckung des jährlichen Fehlbetrages an Kalorien könnte zum großen Teil durch Haselnüsse bewerkstelligt worden sein (weitere Sammelfrüchte werden hier der Einfachheit halber integriert). Deren Erntezeit liegt zeitlich nach dem Einbringen der Ernte, wodurch Arbeitszeit zur Verfügung stand und der Bedarf an weiteren Nahrungsmitteln wahrscheinlich absehbar war. Hier dürfte das Ziel wohl darin gelegen haben, den „Speicher vollzumachen“, also nach Möglichkeit eine dem Fehlbetrag an Kalorien entsprechende Menge Haselnüsse zu sammeln. In diesem Modell nehme ich 15-20 % Kalorien aus Sammelfrüchten an. Für das Sammeln einer entsprechenden Menge Haselnüsse wären zwei Arbeiter 5-10 Tage beschäftigt, und die dafür erforderliche Fläche könnte unter Annahme einer sekundärwaldreichen Umgebung mit Vorhandensein von einigen besonders hochwertigen Sammelflächen („Waldgärten“) etwa 4 ha betragen haben (die insgesamt eine mit Haseldickungen bestandene Fläche von 1 ha enthielten) (siehe Kap.8.2.8).

Da auch der Konsum von Fleisch und Fisch belegt ist, die besonders zur Proteinversorgung beitragen, werden diese im Modell noch mit 5-10% veranschlagt. Den Anteil von 4% Jagdwildfleisch PLUS einem Anteil an der Deckung des Fehlbetrages von 40%, wie in Kap. 8 angenommen, halte ich aufgrund der dafür erforderlichen sehr hohen Fläche für nicht realistisch weil viel zu hoch – vor allem wenn man bedenkt, dass diese Fläche sich nochmals um das 2-3-fache erweitern würde, wenn nachhaltige Entnahme angenommen wird. Den Anteil von Haustierfleisch an der Jahresernährung schätze ich vor dem Hintergrund des oben erwähnten Medians von nur 0,88 Kühen pro Haus ebenfalls als gering ein. Für die Versorgung eines Haushaltes mit 3% Kalorien aus Fisch wäre, je nach Trophiegrad der Seen, eine Seefläche von 3-6 ha erforderlich, was besonders bei großen Siedlungen an den oligotrophen großen Voralpenseen eine eher als unwahrscheinlich hoch zu bezeichnende Fläche erfordert (Abb. 56). Damit wären im statistischen Mittel 100% der Kalorienversorgung abgedeckt

Diese Angaben sind alle an dem mittleren Getreideanteil von 75% orientiert. Dieser war, wie oben beschrieben, aber starken Schwankungen aufgrund der Jahreswitterung unterworfen, und auch die Abnahme der Feldfruchtbarkeit im Verlauf einer Besiedlungsdauer von 10 Jahren um bis zu 40% war vermutlich eine bekannte, weil erlebte Bedrohung, der begegnet werden musste. Daher waren Pufferkapazitäten erforderlich, weil jedes Jahr mit einer deutlich geringeren Deckung von nur 50-60% oder noch geringer gerechnet werden musste. Daraus lässt sich der hohe Wert einer Landschaft erkennen, die über einen hohen Anteil an junger, haselreicher Sekundärvegetation verfügt. Diese kann im Fall schlechter Ernten ohne weiteres durch Intensivierung der Arbeitsmenge dazu genutzt werden, den hier mit 15-20% angenommenen Anteil von gesammelten Wildpflanzen zu erhöhen. Durch den Einsatz von nur einer weiteren sammelnden Person während einer Periode von 10 Tagen konnten 13% eines eventuellen Fehlbetrags an Kalorien eines Hauses gedeckt werden. Die weiteren Vorteile eines solchen Landschaftstyps – der höhere Futterwert für Vieh und die Attraktivität für Wildtiere, wodurch die Chancen auf einen Jagderfolg erhöht würden – waren vermutlich auch hoch geschätzt

Effekte. Jedoch ist der Wert einer Landschaft, die durch so geringen Mehraufwand an Arbeit ein so hohes Plus an Kalorien – und damit im Ernstfall überlebenden Mitgliedern der Gemeinschaft – bereitstellen kann, meinem Erachten nach der wichtigste dieser Effekte. Er stellt daher wahrscheinlich den wichtigsten Grund für eine durch anthropogene Feuer geprägte, haselreiche Sekundärvegetation dar, die über lange Perioden hinweg pollenanalytisch nachgewiesen ist. Er ist vor allem um ein vielfaches bedeutsamer, als der Effekt von brandbedingt höheren Erträgen auf Flächen von Brandfeldbau, welche noch dazu mit einem extrem hohen Arbeitszeitbedarf verbunden wären. Dagegen ist das Öffnen einer Fläche zum Zweck der Initialisierung der Sekundärsukzession und der Förderung der Hasel mit ungleich weniger Arbeit verbunden. Das Ringeln von Bäumen um deren Absterben zu bewirken kann als Zeitvertreib während des Hütens der Rinder durchgeführt werden, und jedes Jahr an einem schönen Tag im September wird dann ein einige Jahre zuvor geringelter Baumbestand angezündet – und bildet für die kommenden 10 Jahre eine wertvolle Fläche für die Viehweide, und im Anschluss daran eine Lebensversicherung für den Fall schlechter Ernten.

#### 10.4 Ausblick

Die letzten Sätze des vorangegangenen Kapitels sind bewusst in einem Erzählton gehalten. Damit soll zweierlei verdeutlicht werden: Es handelt sich bei dem gesagten nicht um einen Befund, sondern um ein Modell. Dieses bietet eine mögliche Erklärung für das spezifische räumliche und zeitliche Muster, welches sich aus den Funden und Befunden der Archäologie und der verschiedenen Naturwissenschaftlichen Disziplinen aufgrund der Untersuchungen in den jung- bis endneolithischen Feuchtbodensiedlungen zusammensetzt. Es ist, wie jedes Modell, vereinfachend, abstrahierend, und lässt viele Aspekte beiseite, um den Fokus auf spezifische Zusammenhänge zu ermöglichen.

Die Modelle „WELASSIMO\_feldbau“ und „WELASSIMO\_fläche“ haben eine räumliche Auflösung von einem sechzehntel Hektar mit einer Rasterweite von 25 m, wodurch eine recht detaillierte Untersuchung des Umfeldes einzelner Siedlungen möglich ist. Auf der anderen Seite beträgt die zeitliche Auflösung nur ein Jahr, wodurch sich die relevanten Prozesse des Ökosystems und der Landnutzung nicht in ihrer eigentlichen Dynamik, sondern nur in deren Auswirkungen abbilden lassen. Eine Erhöhung der zeitlichen Auflösung des Modells könnte also wesentlich detaillierter das volle Potential agentenbasierter Modelle ausschöpfen, indem jahreszeitliche Abläufe simuliert werden. Dies wäre besonders für Projekte wünschenswert, welche eine Simulation des sozio-ökologischen Systems konkreter Siedlungen mit einem gut dokumentierten Datenbestand anstreben.

Das Einbeziehen von mathematisch präzise formulierten, etablierten Waldwachstumsmodellen (z.B. Rademacher et al. 2004) in solch ein Modell würde einen tatsächlichen Test verschiedener Hypothesen erlauben: So könnten beispielsweise die Modelle geprüft werden, die Billamboz für die anthropogene Auswirkung auf die Waldbestände am westlichen Bodensee diskutiert. Auch eine detaillierte Simulation der Landnutzung z.B. in der Siedlung Zürich-Opera Phase 3 könnte aufgrund der hohen Dendendichte ein lohnendes Ziel darstellen.

Ebenso wäre die Einbeziehung soziologischer Komponenten in das Modell eine erstrebenswerte Erweiterung. Die Repräsentation der Siedlungen in der vorliegenden Arbeit ist eher Holzschnitthaft und entspricht nicht der Komplexität sozialer Vernetzungen, die sich beispielsweise aus der Siedlung Arbon-Bleiche 3 ableiten lässt (Doppler et al 2013; Doppler 2013). Dadurch wäre es möglich, die innere Dynamik der Siedlungen, das „ständige Kommen und Gehen“ welches Ebersbach (2010a S. 99) beschreibt, zu simulieren.

## 11 Literaturverzeichnis

- Abel (1978): Abel W, Geschichte der deutschen Landwirtschaft: vom frühen Mittelalter bis zum 19. Jahrhundert, vol 2. Ulmer, Stuttgart
- Adams (1975): Adams S N, Sheep and cattle grazing in forests: a review. *Journal of Applied Ecology*, 143-152
- Ad-hoc-AG\_Boden (2008): Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:200 000 (BÜK 200) – Blattübersicht – Stand der Arbeiten. [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Informationsgrundlagen/Bodenkundliche\\_Karten\\_Datenbanken/BUK200/buek200\\_node.html;jsessionid=C749630234459E-B17E70D598FC1C9AD2.1\\_cid284](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Informationsgrundlagen/Bodenkundliche_Karten_Datenbanken/BUK200/buek200_node.html;jsessionid=C749630234459E-B17E70D598FC1C9AD2.1_cid284) (aufgerufen am 08.04.2016)
- Amann et al. (2014): Amann B, Mauchle F, Grosjean M, Quantitative high-resolution warm season rainfall recorded in varved sediments of Lake Oeschinen, northern Swiss Alps: calibration and validation AD 1901–2008. *Journal of paleolimnology* 51 (3):375-391
- Antolín et al. (2017): Antolín F, Brombacher C, Kühn M, Steiner B, Jacomet S, Archäobotanik (Makroreste): Untersuchungen der Flächenproben im Hinblick auf Taphonomie, Ackerbau, Sammelwirtschaft und Umwelt. In: Bleicher N, Harb C (Hrsg.) Zürich-Parkhaus Opéra. Eine neolithische Feuchtbodensiedlung. Band 3: Naturwissenschaftliche Untersuchungen. Monographien der Kantonsarchäologie Zürich. Direktion der Öffentlichen Bauten des Kantons Zürich, Hochbauamt, Abt. Kantonsarchäologie, Zürich und Egg, 50-89
- Antolín et al. (2016a): Antolín F, Bleicher N, Brombacher C, Kühn M, Steiner B, Jacomet S, Quantitative approximation to large-seeded wild fruit use in a late Neolithic lake dwelling: New results from the case study of layer 13 of Parkhaus Opera in Zürich (Central Switzerland). *Quaternary International*
- Arbogast et al. (2006): Arbogast R-M, Jacomet S, Magny M, Schibler J, The significance of climate fluctuations for lake level changes and shifts in subsistence economy during the late Neolithic (4300–2400 BC) in central Europe. *Vegetation History and Archaeobotany* 15 (4):403-418
- Asseng et al. (2013): Asseng S, Ewert F, Rosenzweig C, Jones J, Hatfield J, Ruane A, Boote K, Thorburn P, Rötter R, Cammarano D, Uncertainty in simulating wheat yields under climate change. *Nature Climate Change* 3 (9):827-832
- Asseng et al. (2015): Asseng S, Ewert F, Martre P, Rötter R, Lobell D, Cammarano D, Kimball B, Ottman M, Wall G, White J, Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change* 5 (2):143-147
- Axtell et al. (2002): Axtell RL, Epstein JM, Dean JS, Gumerman GJ, Swedlund AC, Harburger J, Chakravarty S, Hammond R, Parker J, Parker M, Population growth and collapse in a multiagent model of the Kayenta Anasazi in Long House Valley. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99 (suppl 3):7275-7279
- Barcelo et al. (2015): Barcelo JA, Castillo Fd, Olmo Rd, Mameli L, Quesada FJM, Poza D, Vila X, Simulating Patagonian Territoriality in Prehistory: Space, Frontiers and Networks among Hunter-Gatherers. In: Wurzer G, Kowarik K, Reschreiter H (Hrsg.) Agent-based modeling and simulation in archaeology. Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London
- Barton et al. (2010): Barton CM, Ullah I, Mitasova H, Computational modeling and Neolithic socioecological dynamics: a case study from southwest Asia. *American Antiquity*: 364-386

- Barton et al. (2012): Barton CM, Ullah II, Bergin SM, Mitasova H, Sarjoughian H, Looking for the future in the past: long-term change in socioecological systems. *Ecological Modelling* 241:42-53
- Baum (2016a): Baum T, Computersimulation jungsteinzeitlicher Landnutzung. In: Schlichtherle H, Heumüller M, Haack F, Theune-Grosskopf B (Hrsg.) 4000 Jahre Pfahlbauten. Jan Thorbecke Verlag, Ostfildern, 394-397
- Baum (2016b): Baum T, Simulating land use of prehistoric wetland settlements: did excessive resource use necessitate a highly dynamic settlement system? In: Barceló JA, Castillo FD (Hrsg.) Simulating prehistoric and ancient worlds. Springer, 255-279
- Baum et al. (2016): Baum T, Nendel C, Jacomet S, Colobran M, Ebersbach R, "Slash and Burn" or "weed and manure"? A modelling approach to explore hypotheses of late Neolithic crop cultivation in pre-alpine wetland sites. *Vegetation History and Archaeobotany* 25 (6):611-627. doi:10.1007/s00334-016-0583-x
- Baum, T. (2014): Models of wetland settlement and associated land-use in south-west Germany during the fourth Millennium B.C. *Vegetation History and Archaeobotany* 23(1), 67–80
- Baumeister und Köninger (2016): Baumeister R, Köninger J, Nachgehakt. Fischerei am Bodensee und in Oberschwaben. In: Schlichtherle H, Heumüller M, Haack F, Theune-Grosskopf B (Hrsg.) 4000 Jahre Pfahlbauten. Jan Thorbecke Verlag, Ostfildern, 340-345
- Beer und van Geel (2008): Beer J, van Geel B: Holocene climate change and the evidence for solar and other forcings. In: Battarbee R, Binney H (Hrsg.) *Natural Climate Variability and Global Warming: A Holocene Perspective*. Wiley-Blackwell, Oxford, 138-162
- Behringer et al. (2005): Behringer W, Lehmann H, Pfister C, Kulturelle Konsequenzen der » Kleinen Eiszeit «/Cultural Consequences of the » Little Ice Age «, vol 61. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen
- Beranová (1980): Beranová M, *Zemědělství starých Slovanů*. Academia, Prag
- Bernadzki et al. (1998): Bernadzki E, Bolibok L, Brzeziecki B, Zajaczkowski J, Żybura H, Compositional dynamics of natural forests in the Bialowieza National Park, Northeastern Poland. *Journal of Vegetation Science* 9 (2):229-238
- Bickle und Whittle (2013): Bickle P, Whittle A, *The first farmers of central Europe: diversity in LBK life-ways*. Oxbow Books, Oxford
- Billamboz (2014): Billamboz A, Regional patterns of settlement and woodland developments: Dendroarchaeology in the Neolithic pile-dwellings on Lake Constance (Germany). *The Holocene* 24 (10):1278-1287
- Billamboz (2011): Billamboz A, Applying dendrotypology to large timber series. In: Fraiture P (Hrsg.) *Tree Rings, Art, Archaeology*, Royal Institute for Cultural Heritage, Brussels, 10–12 February 2010, 2011. *Scientia Artis. IRPA/KIK*, 177-188
- Billamboz (2006): Billamboz A, Dendrochronologische Untersuchungen in den neolithischen Ufersiedlungen von Hornstaad-Hörnle. In: Hornstaad-Hörnle 1A. *Die Befunde einer jungneolithischen Pfahlbausiedlung am westlichen Bodensee. Siedlungsarchäologie im Alpenvorland XII*, vol 98. *Forsch. u. Ber. Vor- u. Frühgesch. Baden-Württemberg*. Theiss, Stuttgart, 297-414
- Billamboz und Köninger (2008): Billamboz A, Köninger J, Dendroarchäologische Untersuchungen zur Besiedlungs- und Landschaftsentwicklung des westlichen Bodenseegebietes. In: Dörfler W, Müller J

(Hrsg.) Umwelt-Wirtschaft-Siedlungen im dritten vorchristlichen Jahrtausend Mitteleuropas und Südkandinavien, vol 84. Offa - Bücher. Wachholtz, Neumünster, 317-335

Billamboz et al. (2010): Billamboz A, Maier U, Matuschik I, Müller A, Vogt R, Out W, Stean K, Die Jung- und endneolithischen Seeufersiedlungen von Sipplingen-Osthafen am Bodensee: Besiedlungs- und Wirtschaftsdynamik im eng begrenzten Raum des Sipplinger Dreiecks. In: Matuschik I, Strahm C (Hrsg.) Vernetzungen. Festschrift für Helmut Schlichtherle. Lavori, Freiburg, 253-287

Birks und John (2008): Birks H, John B, Holocene climate research—progress, paradigms, and problems. In: Battarbee R, Binney H (Hrsg.) Natural climate variability and global warming: a Holocene perspective. Wiley-Blackwell, Oxford, 7-57

Bishop BC (1990): Bishop BC, Karnali under stress: livelihood strategies and seasonal rhythms in a changing Nepal Himalaya, vol 228/229. Geography research paper. Chicago

Bleicher (2016): Bleicher N, Zürich-Parkhaus Opéra. In: Schlichtherle H, Heumüller M, Haack F, Theune-Grosskopf B (Hrsg.) 4000 Jahre Pfahlbauten. Jan Thorbecke Verlag, Ostfildern, 126-127

Bleicher (2015): Bleicher N, Dendrochronologie und Pfahlfeldanalyse. In: Ebersbach R, Ruckstuhl B, Bleicher N (Hrsg.) Zürich Mozartstrasse. Neolithische und bronzezeitliche Ufersiedlungen, vol 47. Monografien der Kantonsarchäologie Zürich. Fotorotar, Zürich und Egg, 122-165

Bleicher (2013): Bleicher N, Summed radiocarbon probability density functions cannot prove solar forcing of Central European lake-level changes. *The Holocene* 23 (5):755-765

Bleicher (2009): Bleicher N, Altes Holz in neuem Licht. Archäologische und dendrochronologische Untersuchungen an spätneolithischen Feuchtbodensiedlungen in Oberschwaben. *Berichte zu Ufer- und Moorsiedlungen Südwestdeutschlands* 5. Materialhefte zur Archäologie in Baden-Württemberg 83. Theiss, Stuttgart

Bleicher und Burger (2015): Bleicher N, Burger M, Dendroarchäologie und Pfahlfeldanalyse. In: Bleicher N, Harb C (Hrsg.) Zürich-Parkhaus Opera. Eine neolithische Feuchtbodenfundstelle. Befunde, Schichten und Dendroarchäologie, vol 48. Monografien der Kantonsarchäologie Zürich Fotorotar, Zürich und Egg, 100-147

Bleicher und Harb (2015): Bleicher N, Harb C, Zürich-Parkhaus Opera. Eine neolithische Feuchtbodenfundstelle. Befunde, Schichten und Dendroarchäologie, vol 48. Monografien der Kantonsarchäologie Zürich Fotorotar, Zürich und Egg

Bleicher et al. (2013): Bleicher N, Schlichtherle H, Gassmann P, Martinetti N, Dendrochronologie, -typologie, -ökologie. Beier und Beran, Langenweißbach

Bobiec (2002): Bobiec A, Living stands and dead wood in the Białowieża forest: suggestions for restoration management. *Forest Ecology and Management* 165 (1):125-140

Bogaard (2012): Bogaard A, Middening and manuring in Neolithic Europe: issues of plausibility, intensity and archaeological method. In: Jones R (Hrsg.) Manure matters: historical, archaeological and ethnographic perspectives. Ashgate, Farnham, 25-39

Bogaard (2011): Bogaard A, Farming practice and society in the central European Neolithic and Bronze Age: an archaeobotanical response to the secondary products revolution model. In: Hadjikoumis A, Robinson E, Viner S (Hrsg.) The Dynamics of Neolithisation in Europe. Studies in honour of Andrew Sherratt. Oxbow books, Oxford, 266-283

- Bogaard (2004): Bogaard A, Neolithic farming in Central Europe. An archaeobotanical study of crop husbandry practices. 1. publ. edn. Routledge, London [u.a.]
- Bogaard (2002): Bogaard A, Questioning the relevance of Shifting Cultivation to Neolithic farming in the loess belt of Europe: evidence from the Hambach Forest experiment. *Vegetation History and Archaeobotany* 11 (1-2):155-168
- Bogaard et al. (2013): Bogaard A, Fraser R, Heaton TH, Wallace M, Vaiglova P, Charles M, Jones G, Evershed RP, Styring AK, Andersen NH, Crop manuring and intensive land management by Europe's first farmers. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110 (31):12589-12594
- Bolliger (2013): Bolliger M, Wenns taut wird gebaut! Schnurkeramische Besiedlungsdynamik am Zürichsee. Masterarbeit Universität Basel, unveröffentlicht
- Bond et al. (2001): Bond G, Kromer B, Beer J, Muscheler R, Evans MN, Showers W, Hoffmann S, Lott-Bond R, Hajdas I, Bonani G: Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science* 294 (5549):2130-2136
- Bos und Urz (2003): Bos J A, Urz R, Late Glacial and early Holocene environment in the middle Lahn river valley (Hessen, central-west Germany) and the local impact of early Mesolithic people - pollen and macrofossil evidence. *Vegetation History and Archaeobotany* 12 (1):19-36
- Bose (1967): Bose S, Carrying capacity of land under Shifting Cultivation. The Asiatic Society monograph series, vol 12. Asiatic Society, Calcutta
- Boserup (1965): Boserup E, The conditions of agricultural growth. Aldine, Chicago
- Brombacher und Jacomet (1997): Brombacher C, Jacomet S, Ackerbau, Sammelwirtschaft und Umwelt: Ergebnisse archäobotanischer Untersuchungen. In: Schibler J, Hüster-Plogmann H, Jacomet S, Brombacher C, Gross-Klee E, Rast-Eicher A (Hrsg.) *Ökonomie und Ökologie neolithischer und bronzezeitlicher Ufersiedlungen am Zürichsee. Ergebnisse der Ausgrabungen Mozartstrasse, Kanalisationsanierung Seefeld, AKAD/Pressehaus und Mythenschloss in Zürich*, vol 20. Monographien der Kantonsarchäologie Zürich. Fotorotar AG, Zürich, Egg, 220-299
- Brombacher und Hadorn (2004): Brombacher C, Hadorn P, Untersuchungen der Pollen und Makroreste aus den Profilsäulen. In: Jacomet S, Leuzinger U, Bouchet F, De Capitani A (Hrsg.) *Die jungsteinzeitliche Seeufersiedlung Arbon, Bleiche 3: Veröffentlichungen des Amtes für Archäologie des Kantons Thurgau. Umwelt und Wirtschaft. vol Bd. 3. Amt für Archäologie, Frauenfeld*, 50-63
- Bruckner und Strohmaier (2016): Bruckner, Strohmaier, Holzvermarktung: Schwachholz und Durchforstungsholz. [https://www.holz-von-hier.de/waldbesitzer-info/Schwach-Durchforstungsholz\\_hr.pdf](https://www.holz-von-hier.de/waldbesitzer-info/Schwach-Durchforstungsholz_hr.pdf)
- Burga und Perret (1998): Burga CA, Perret R, Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter. Ott, Thun
- Casa und Castrignanò (2008): Casa R, Castrignanò A, Analysis of spatial relationships between soil and crop variables in a durum wheat field using a multivariate geostatistical approach. *European Journal of Agronomy* 28 (3):331-342
- Champlain 1922: Champlain Sd, Bourne AN, Bourne EG, voyages and explorations of Samuel de Champlain, 1604-1616
- Childe (1929): Childe VG, The Danube in Prehistory. Clarendon Press, Oxford

- Clark et al. (1989): Clark JS, Merkt J, Müller H, Post-Glacial Fire, Vegetation, and Human History on the Northern Alpine Forelands, South-Western Germany. *Journal of Ecology* 77 (4):897-925
- Clarke (1972): Clarke DL, *Models in archaeology*. Routledge London
- Crabtree (2016): Crabtree SA, Simulating littoral trade: Modeling the trade of wine in the bronze to iron age transition in southern France. *Land* 5 (1):5
- Crooks und Castle (2012): Crooks A, Castle C, The Integration of Agent-based modelling and Geographical Information for Geospatial Simulation In: Heenstall A, Crooks A, See L, Batty M (eds) *Agent-based models of geographical systems*. Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London, 219-251
- Dalzell (1987): Dalzell HW, Soil management: compost production and use in tropical and subtropical environments, vol 56. *FAO Soils Bulletin*, vol 56. Food & Agriculture Org., Birmingham
- Danielisova et al. (2015): Danielisova A, Olsevicova K, Cimler R, Machalek T, Understanding the Iron Age economy: Sustainability of agricultural practices under stable population growth. In: Wurzer G, Kowarik K, Reschreiter H (eds) *Agent-based modeling and simulation in archaeology*. Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London
- Dark und Gent (2001): Dark P, Gent H, Pests and Diseases of Prehistoric Crops: A Yield 'Honeymoon' for Early Grain Crops in Europe? *Oxford journal of archaeology* 20 (1):59-78
- Davis et al. (2003): Davis BA, Brewer S, Stevenson AC, Guiot J, The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. *Quaternary Science Reviews* 22 (15):1701-1716
- Dean et al. (2000): Dean JS, Gumerman GJ, Epstein JM, Axtell RL, Swedlund AC, Parker MT, McCarroll S, Understanding Anasazi culture change through agent-based modeling. *Dynamics in human and primate societies: Agent-based modeling of social and spatial processes*:179-205
- DeMenocal (2001): DeMenocal PB, Cultural responses to climate change during the late Holocene. *Science (New York, NY)* 292 (5517):667-673
- Deschler-Erb und Marti-Grädel (2004): Deschler-Erb S, Marti-Grädel E, Viehhaltung und Jagd. Ergebnisse der Untersuchungen der handaufgelesenen Tierknochen. In: Jacomet S, Schiber J, Leuzinger U (eds) *Die jungsteinzeitliche Seeufersiedlung Arbon-Bleiche 3. Umwelt und Wirtschaft*, vol 12. *Archäologie im Thurgau*. Frauenfeld, 158-252
- Diacono et al. (2012): Diacono M, Castrignanò A, Troccoli A, De Benedetto D, Basso B, Rubino P, Spatial and temporal variability of wheat grain yield and quality in a Mediterranean environment: A multivariate geostatistical approach. *Field Crops Research* 131:49-62
- Dieckmann (1990): Dieckmann B, Zum Stand der archäologischen Untersuchungen in Hornstaad. *Berichte der Römisch-Germanischen Kommission* 71 (1):84-110
- Dieckmann et al. (2006): Dieckmann B, Harwarth A, Hoffstadt J, Billamboz A, Hornstaad-Hörnle 1A. Die Befunde einer jungneolithischen Pfahlbausiedlung am westlichen Bodensee. *Siedlungsarchäologie im Alpenvorland IX. Forsch. u. Ber. z. Vor- u. Frühgesch.* 98. Theiss, Stuttgart
- Dieckmann et al. (1997): Dieckmann B, Maier U, Vogt R, Hornstaad-Hörnle, eine der ältesten jungsteinzeitlichen Ufersiedlungen am Bodensee. In: Schlichtherle H (ed) *Pfahlbauten rund um die Alpen*. Theiss, Stuttgart, 15-22
- Doppler et al. (2013): Doppler T, Pichler S, Röder B, Schibler J: Coping with Crises I: Subsistence variety and resilience in the neolithic lake shore settlement Arbon-Bleiche 3 (Switzerland). In: Kerig T,

- Zimmermann A (eds) Economic Archaeology. From structure to performance in european archaeology, vol 37. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie. Habelt, Bonn, 163-174
- Doran et al. (1994): Doran J, Palmer M, Gilbert N, Mellars P, The EOS project: modelling Uer Palaeolithic social change. *Simulating Society: The Computer Simulation of Social Phenomena*:195-221
- Drechsler (1991): Drechsler H, Über das Raumverhalten des Rotwildes im Harz. *Zeitschrift für Jagdwissenschaft* 37 (2):78-90
- Dufraisse (2008): Dufraisse A, Firewood management and woodland exploitation during the late Neolithic at Lac de Chalain (Jura, France). *Vegetation History and Archaeobotany* 17 (2):199-210
- Dufraisse (2005): Dufraisse A, Économie du bois de feu et sociétés néolithiques: analyses anthracologiques aliquées aux sites d'ambiance humide des lacs de Chalain et de Clairvaux (Jura, France). *Gallia préhistoire* 47 (1):187-233
- Ebersbach (2013): Ebersbach R, Quantitative approaches to reconstructing prehistoric stock breeding. In: Kerig T, Zimmermann A (eds) *Economic Archaeology. From structure to performance in european archaeology*, vol 37. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie. Habelt, Bonn, 143-162
- Ebersbach (2010a): Ebersbach R, Über die Dynamik. Maßstabsübergreifende Auswertungen und theoretische Ansätze zum Verständnis schweizerischer Feuchtbodensiedlungen. Basel, unveröffentlicht
- Ebersbach (2010b): Ebersbach R, Vom Entstehen und Vergehen. Überlegungen zur Dynamik von Feuchtbodenhäusern und -siedlungen. In: Matuschik I, Strahm C (eds) *Vernetzungen. Festschrift für Helmut Schlichtherle*. Lavori, Freiburg
- Ebersbach (2003): Ebersbach R, Paleoecological reconstructions and calculation of calorie requirement at Lake Zurich. Paper presented at the *Archaeology of Landscape and Geographic Information Systems*. Archäoprognose Brandenburg I. *Forschungen zur Archäologie im Land Brandenburg* 8 Wünsdorf 2003
- Ebersbach (2002): Ebersbach R, Von Bauern und Rindern: eine Ökosystemanalyse zur Bedeutung der Rinderhaltung in bäuerlichen Gesellschaften als Grundlage zu Modellbildung im Neolithikum. Schwabe, Basel
- Ebersbach et al. (2015): Ebersbach R, Ruckstuhl B, Bleicher N, Zürich Mozartstrasse. Neolithische und bronzezeitliche Ufersiedlungen, vol 47. *Monografien der Kantonsarchäologie Zürich*. Fotorotar, Zürich und Egg
- Eckhart (1975): Eckhart N, Der Ausschlagswald und der Staudenwald in Österreich. Ein Überblick über Ausmaße, Verteilung und Leistungsfähigkeit. Informationsdienst der forstl Bundesversuchsanstalt Wien 155:109-112
- Ehrmann et al. (2014): Ehrmann O, Biester H, Bogenrieder A, Rösch M, The Forchtenberg Experiment —results after 15 years and implications for the understanding of Neolithic land use. *Vegetation History and Archaeobotany* 23 (1):5-18
- Ehrmann et al. (2009): Ehrmann O, Rösch M, Schier W, Experimentelle Rekonstruktion eines jungneolithischen Wald-Feldbaus mit Feuereinsatz, ein multidisziplinäres Forschungsprojekt zur Wirtschaftsarchäologie und Landschaftsökologie. *Praehistorische Zeitschrift* 84 (1):44-72.  
doi:10.1515/pz.2009.003



Emborg et al. (2000): Emborg J, Christensen M, Heilmann-Clausen J, The structural dynamics of Suse-rup Skov, a near-natural temperate deciduous forest in Denmark. *Forest Ecology and Management* 126 (2):173-189

Epstein und Axtell (1996): Epstein JM, Axtell R, Growing artificial societies: social science from the bottom up. Brookings Institution Press, Washington D.C.

Erny-Rodmann (1996): Erny-Rodmann C, Von der Urlandschaft zur Kulturlandschaft. Pollenanalytische Untersuchungen and drei Uferprofilen aus dem Zürcher Seefeld zu anthropogenen Vegetationsveränderungen seit dem Mesolithikum bis ins ausgehende Neolithikum. Universität Basel,

Faliński (1986): Faliński JB, Vegetation dynamics in temperate lowland primeval forests, vol 8. Geobotany. W. Junk, Dordrecht

Farack und Guddat (2008): Farack M, Guddat C, Entwicklungstendenzen und Faktoren der Ertragsbildung bei Getreide in Thüringen Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft <http://www.tll.de/ainfo/pdf/eget0108.pdf>.

Ferber (1999): Ferber J, Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence, vol 1. Addison Wesley Longman, Harlow

Firbas (1949): Firbas F, Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen, vol 1. Gustav Fischer, Jena

Freyer et al. (2005): Freyer B, Pietsch G, Hrbek R, Winter S Futter- und Körnerleguminosen im biologischen Landbau. Österreichischer Agrarverlag, Leopoldsdorf

Fries (1995) Fries J, Vor- und frühgeschichtliche Agrartechnik auf den Britischen Inseln und dem Kontinent. *Archäologisches Nachrichtenblatt* 1 (4):353-356

Frühwald (1987): Frühwald H, Brandwirtschaft in der Steiermark. Eine volkskundliche Bestandsaufnahme. Graz

Geyer und Gwinner (2011): Geyer OF, Gwinner MP, Geologie von Baden-Württemberg. E. Schweizerbart, Stuttgart

Ghilardi et al. (2009): Ghilardi A, Guerrero G, Masera O, A GIS-based methodology for highlighting fuelwood supply/demand imbalances at the local level: a case study for Central Mexico. *Biomass and bioenergy* 33 (6):957-972

Gradmann (1931): Gradmann R, Süddeutschland. Engelhorn, Stuttgart

Grimm et al. (2006): Grimm V, Berger U, Bastiansen F, Eliassen S, Ginot V, Giske J, Goss-Custard J, Grand T, Heinz SK, Huse G, A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological modelling* 198 (1):115-126

Grimm et al. (2010): Grimm V, Berger U, DeAngelis DL, Polhill JG, Giske J, Railsback SF, The ODD protocol: a review and first update. *Ecological modelling* 221 (23):2760-2768

Gross et al. (1990): Gross E, Jacomet S, Schibler J, Stand und Ziele der wirtschaftsarchäologischen Forschung an neolithischen Ufer- und Inselsiedlungen im unteren Zürichseeraum (Kt. Zürich, Schweiz). In: Schibler J, Sedlmaier J, Spycher H (Hrsg.) *Festschrift Hans R. Stampfli*. Verlag Helbig & Lichtenhahn, Basel, 77-100

Günther und Heurich (2013): Günther S, Heurich M, Bewertung der Naturnähe des Rothirschmanagements in mitteleuropäischen Nationalparks. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 1 (2013):1-16

Haas und Hadorn (1998): Haas JN, Hadorn P, Die Vegetations- und Kulturlandschaftsgeschichte des Seebachtals von der Mittelsteinzeit bis zum Frühmittelalter anhand von Pollenanalysen. In: Hasenfratz A, Schnyder M (Hrsg.) Das Seebachtal — Eine archäologische und paläoökologische Bestandsaufnahme., vol 4. Archäologie im Thugau. Departement für Erziehung und Kultur des Kantons Thurgau, Frauenfeld, 221-254

Verlag, Ostfildern, 59-64

Hafner (2010): Hafner A., Ufersiedlungen mit Palisaden am Bielersee. Hinweise auf Verteidigungssysteme in neolithischen und bronzezeitlichen Pfahlbauten. In: Matuschik I, Strahm C (Hrsg.) Vernetzungen. Lavori, Freiburg, 179-207

Hafner et al. 2016: Hafner A., Pétrequin P., Schlichtherle H., Ufer- und Moorsiedlungen. In: Schlichtherle H, Heumüller M, Haack F, Theune-Grosskopf B (Hrsg.) 4000 Jahre Pfahlbauten. Jan Thorbecke

Halstead (1995): Halstead P, Plough and Power. The economic and social significance of cultivation with the ox-drawn ard in the Mediterranean. Bulletin of Sumerian Agriculture 8:11-22

Harb und Bleicher (2016): Harb C, Bleicher N, Zürich-Parkhaus Opera. Eine neolithische Feuchtbodenfundstelle. Funde, vol 49. Monografien der Kantonsarchäologie Zürich Fotorotar, Zürich und Egg

Härdtle et al. (2004): Härdtle W, Ewald J, Hölzel N, Wälder des Tieflandes und der Mittelgebirge. Eugen Ulmer, Stuttgart

Hartter und Boston (2008): Hartter J, Boston K, Consuming fuel and fuelling consumption: modelling human caloric demands and fuelwood use. Small-Scale Forestry 7 (1):1-15

Heer (1866): Heer O, Die Pflanzen der Pfahlbauten. Zürcher und Furrer, Zürich

Heitz-Weniger (1977): Heitz-Weniger A, Zur Waldgeschichte im unteren Zürichseegebiet während des Neolithikums und der Bronzezeit. Bauhinia: Zeitschrift der Basler Botanischen Gesellschaft 6:61-81

Heitz-Weniger (1978): Heitz-Weniger A, Pollenanalytische Untersuchungen an den neolithischen und spätbronzezeitlichen Seerandsiedlungen Kleiner Hafner, Grosser Hafner und Alpenquai im untersten Zürichsee (Schweiz) Botanische Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie 99 (1):48-107

Helfrich und Konold (2010): Helfrich T, Konold W, Formen ehemaliger Niederwälder und ihre Strukturen in Rheinland-Pfalz. Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie 44:157-168

Henderson und Kettles (1992): Henderson PJ, Kettles IM, Geological Survey of Canada Map 1799 A.

Henning (1994): Henning F-W, Deutsche Agrargeschichte des Mittelalters. Stuttgart: Ulmer

Heumüller (2009): Heumüller M, Der Schmuck der jungneolithischen Siedlung Hornstaad-Hörnle 1A im Rahmen des mitteleuropäischen Mittel- und Jungneolithikums, vol 112. Siedlungsarchäologie im Alpenvorland X. Forsch. u. Ber. z. Vor- u. Frühgesch. Baden-Württemberg 112. Theiss, Stuttgart

Heumüller und Million (2013): Heumüller M, Million S, Ein Bohlenweg der Hallstattzeit und weitere vorgeschichtliche Wege zur Insel Buchau (Bad Buchau, Kr. Biberach). In: Bleicher N, Schlichtherle H, Gassmann P, Martinetti N (Hrsg.) Dendrochronologie, -typologie, -ökologie. Beier und Beran, Langenweißbach

Hlubek (1846): Hlubek FX, Die Landwirtschaft des Herzogthumes Steiermark. Dissertation, Graz

- Hochbauamt der Stadt Zürich (1996): Inventar 1996. Kurzinventarisierung der Zürcher Seeufersiedlungen, Frühjahr/Sommer 1996. Unpubl. Dokumentation Archiv Unterwasserarchäologie und Dendrochronologie Zürich
- Hochhardt (1996): Hochhardt W, Vegetationskundliche und faunistische Untersuchungen in den Niederwäldern des Mittleren Schwarzwaldes unter Berücksichtigung ihrer Bedeutung für den Arten- und Biotopschutz. Institut für Landespflege, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- Hoffstadt (2005): Hoffstadt J, Die Untersuchung der Silexartefakte aus der Ufersiedlung Hornstaad-Hörnle 1A, vol 90. Siedlungsarchäologie im Alpenvorland VII. Forsch. u. Ber. z. Vor- u. Frühgesch. Baden-Württemberg 90. Theiss, Stuttgart
- Höhn und Neumann (2012): Höhn A, Neumann K, Shifting Cultivation and the development of a cultural landscape during the Iron Age (0–1500 AD) in the northern Sahel of Burkina Faso, West Africa: Insights from archaeological charcoal. *Quaternary International* 249:72-83
- Holst (2010): Holst D, Hazelnut economy of early Holocene hunter–gatherers: a case study from Mesolithic Duvensee, northern Germany. *Journal of Archaeological Science* 37 (11):2871-2880
- Hosch und Jacomet (2004): Hosch S, Jacomet S, Ackerbau und Sammelwirtschaft. Ergebnisse der Untersuchungen von Samen und Früchten. In: Jacomet S, Leuzinger U, Schibler J (Hrsg.) Die jungsteinzeitliche Seeufersiedlung Arbon – Bleiche 3. Umwelt und Wirtschaft., vol 12. Archäologie im Thurgau. Frauenfeld, 112-156
- Hufschmid (1983): Hufschmid N, Pollenanalytische Untersuchungen zur postglazialen Vegetationsgeschichte rund um den Zürichsee anhand von anthropogen unbeeinflussten Moor- und Seesedimenten. Unpublizierte Dissertation Universität Basel,
- Hüster-Plogmann (2004): Hüster-Plogmann H, Fischfang und Kleintierbeute. Ergebnisse der Untersuchung aus den Schlämmpfunden. In: Jacomet S, Leuzinger U, Schibler J (Hrsg.) Die jungsteinzeitliche Seeufersiedlung Arbon – Bleiche 3. Umwelt und Wirtschaft, vol 12. Archäologie im Thurgau. 253-276
- Hüster-Plogmann und Schibler (1997): Hüster-Plogmann H, Schibler J, Archäozoologie. In: Schibler J, Jacomet S, Hüster-Plogmann H, Brombacher C, Gross-Klee E, Rast-Eicher A (Hrsg.) Ökonomie und Ökologie neolithischer und bronzezeitlicher Ufersiedlungen am Zürichsee : Ergebnisse der Ausgrabungen Mozartstrasse, Kanalisationssanierung Seefeld, AKAD/Pressehaus und Mythenschloss in Zürich. Fotorotar AG, Zürich; Egg, 40-121
- Ilyashuk et al. (2011): Ilyashuk EA, Koinig KA, Heiri O, Ilyashuk BP, Psenner R, Holocene temperature variations at a high-altitude site in the Eastern Alps: a chironomid record from Schwarzsee ob Sölden, Austria. *Quaternary Science Reviews* 30 (1):176-191
- IPCC (2007) The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
- Iversen (1941): Iversen J, Landnam i Danmarks stenalder: En pollenanalytisk undersøgelse over det første landbrugs indvirkning paa vegetationsudviklingen. Komm. Reitzel, Kopenhagen
- Jääts et al. (2011): Jääts L, Marge K, Kihno K, Tomson P, Fire cultivation in estonian cultural landscapes. In: Peil T (Hrsg.) The space of culture-the place of nature in Estonia and beyond. Tartu University Press, 165-180

- Jacomet (2014): Jacomet S, Crop diversity in Southwestern Central Europe from the Neolithic onwards. In: Chevalier A, Marinova E, Pena-Chocarro L (Hrsg.) *Plants and People: Choices and Diversity through Time*. Oxbow Books Oxford, 126-140
- Jacomet (2009): Jacomet S, Plant economy and village life in Neolithic lake dwellings at the time of the Alpine Iceman. *Vegetation history and archaeobotany* 18, 1, 47-59
- Jacomet (2007): Jacomet S, Neolithic plant economies in the northern alpine foreland (Central Europe) from 5500-3500 BC cal. In: Colledge S, Conolly J (Hrsg.) *The Origins and Spread of Domestic Plants in Southwest Asia and Europe*. Left Coast Press, Walnut Creek, CA, 221-258
- Jacomet (2006): Jacomet S, Plant economy of the northern Alpine lake dwellings—3500–2400 cal. BC. *Environmental Archaeology* 11 (1):65-85
- Jacomet und Brombacher (2009): Jacomet S, Brombacher C, *Geschichte der Flora in der Regio Basiliensis seit 7500 Jahren: Ergebnisse von Untersuchungen pflanzlicher Makroreste aus archäologischen Ausgrabungen*. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel 11:27-106
- Jacomet und Schibler (2010a): Jacomet S, Schibler J, Short climatic fluctuations and their impact on human economies and societies: The potential of the Neolithic lake shore settlements in the Alpine Foreland. *Environmental archaeology* 15 (2):173-182
- Jacomet und Schibler (2010b): Jacomet S, Schibler J, Subsistenzwirtschaft aus archäobiologischer Sicht. In: Matuschik, Strahm (Hrsg.) *Vernetzungen*. Lavori, Freiburg
- Jacomet und Schibler (1985): Jacomet S, Schibler J, Die Nahrungsversorgung eines jungsteinzeitlichen Pfynerdorfes am unteren Zürichsee. *AS* 8:125-141
- Jacomet et al. (2016): Jacomet S, Antolin F, Akeret O, Bogaard A, Baum T, Brombacher C, Bleicher N, Ebersbach R, Heitz-Weniger A, Hüster-Plogmann H, Gross E, Kühn M, Rentzel P, Schibler J, Steiner B, Wick L. On-site data question on-going research on Shifting Cultivation in the Late Neolithic (ca. 4300-2400 cal. BC). *Landscape management as an alternative paradigm. The Holocene*, 26(11), 1-16.
- Jacomet et al. (1989): Jacomet S, Brombacher C, Dick M, *Archäobotanik am Zürichsee: Ackerbau, Sammelwirtschaft und Umwelt von neolithischen und bronzezeitlichen Seeufersiedlungen im Raum Zürich; Ergebnisse von Untersuchungen pflanzlicher Makroreste der Jahre 1979-1988*. Orell Füssli, Zürich
- Janssen (2009): Janssen MA, Understanding Artificial Anasazi. *Journal of Artificial Societies & Social Simulation* 12 (4)
- Jepsen et al. (2006): Jepsen MR, Leisz S, Rasmussen K, Jakobsen J, Møller-Jensen L, Christiansen L, Agent-based modelling of Shifting Cultivation field patterns, Vietnam. *International Journal of Geographical Information Science* 20 (9):1067-1085
- Johnson und Kohler (2012): Johnson C, Kohler T, Modeling plant and animal productivity and fuel use. In: Kohler TA, Varien M, Wright A (Hrsg.) *Emergence and collapse of early villages: Models of central Mesa Verde archaeology*. University of California Press, Berkeley, 113-128
- Jones (2002): Jones G, Weed ecology as a method for the archaeobotanical recognition of crop husbandry practices. *Acta Palaeobotanica* 42 (2):185-193
- Jones (1861): Jones P, *History of the Ojibway indians*. London

- Joos et al. (2004): Joos F, Gerber S, Prentice I, Otto-Bliesner BL, Valdes PJ, Transient simulations of Holocene atmospheric carbon dioxide and terrestrial carbon since the Last Glacial Maximum. *Global Biogeochemical Cycles* 18 (2)
- Juo und Manu (1996): Juo AS, Manu A, Chemical dynamics in slash-and-burn agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 58 (1):49-60
- Kaland (1979): Kaland PE, Landskapsutvikling og bosetningshistorie i Nordhordlands lynchheimråde. På leiting etter den eldste garden:41-47
- Kalis et al. (2003): Kalis AJ, Merkt J, Wunderlich J, Environmental changes during the Holocene climatic optimum in central Europe-human impact and natural causes. *Quaternary Science Reviews* 22 (1):33-79
- Kerig (2007): Kerig T, Als Adam grub.... Vergleichende Anmerkungen zu landwirtschaftlichen Betriebsgrößen In prähistorischer Zeit. *Ethnographisch-archaologische Zeitschrift* 48 (3):375-402
- Kerig und Lechterbeck (2004): Kerig T, Lechterbeck J, Laminated sediments, human impact, and a multivariate approach: a case study in linking palynology and archaeology (Steisslingen, Southwest Germany). *Quaternary International* 113 (1):19-39
- Kohler und van der Leeuw (2007): Kohler TA, van der Leeuw SE, The Model-based archaeology of socio-natural systems. School for advanced research press, Santa Fe
- Kohler et al. (2012): Kohler TA, Bocinsky RK, Cockburn D, Crabtree SA, Varien MD, Kolm KE, Smith S, Ortman SG, Kobti Z, Modelling prehispanic Pueblo societies in their ecosystems. *Ecological Modelling* 241:30-41
- Kolonko (1987): Kolonko S, Kalkulation der Birken-Brennholzproduktion. Universität Freising-Weihenstephan, unpublizierte Diplomarbeit
- Königer (2002): Königer J, Schleife, Schlitten, Rad und Wagen: zur Frage früher Transportmittel nördlich der Alpen. Janus-Verlag, Freiburg
- Koop (1982): Koop H. Waldverjüngung, Sukzessionsmosaik und kleinstandörtliche Differenzierung infolge spontaner Waldentwicklung. In: Dierschke H (Hrsg.) *Struktur und Dynamik von Wäldern*, Vaduz, 1982. Ver. Intern. Symp. IVV. 235-267
- Korpel (1995): Korpel S, Die Urwälder der Westkarpaten. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- Kowalska-Lewicka (1972): Kowalska-Lewicka A, Brandwirtschaft und Brandrodung im 19. und 20. Jahrhundert in den polnischen Karpaten. In: Balassa (Hrsg.) *Getreidebau in Ost- und Mitteleuropa*. Budapest
- Kriso (1958): Kriso K, Entstehung, Aufbau und Leistung von Eichen-Hainbuchenbeständen in Süddeutschland. *Forstw. Forsch. Beih.* 9 zum Forstwiss. Cbl. Parey, Hamburg, Berlin
- Küster (1985): Küster HJ, Neolithische Pflanzenreste aus Hochdorf, Gemeinde Eberdingen (Kreis Ludwigsburg). *Forschungen und Berichte zur Vor und Frühgeschichte in Baden-Württemberg* 19:15-83
- Lake (2014): Lake MW, Trends in archaeological simulation. *Journal of Archaeological Method and Theory* 21 (2):258-287
- Lake (2015): Lake MW, Agent-based Modelling in Archaeology. In: Wurzer G, Kowarik K, Reschreiter H (Hrsg.) *Agent-based modeling and simulation in archaeology*. Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London

Lang (1990): Lang G, Die Vegetation des westlichen Bodenseegebiet. 2., erg. Aufl. edn. G. Fischer, Stuttgart [u.a.]

Lechterbeck (2001): Lechterbeck J, "Human impact" oder "climatic change"? : zur Vegetationsgeschichte des Spätglazials und Holozäns in hochauflösenden Pollenanalysen laminiertes Sedimente des Steißlinger Sees (Südwestdeutschland). Dissertation Universität Tübingen

Lechterbeck und Merkel (2014): Lechterbeck, J und Merkel, M.B., Die neolithische Siedlungsdynamik zwischen Hegau und Bodenseeufer. Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 2013, 41–46

Leibundgut (2001): Leibundgut C, Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (WaBoA). LUBW c/o JVA Manheim - Druckerei

Leibundgut H (1993): Leibundgut H, Europäische Urwälder: Wegweiser zur naturnahen Waldwirtschaft. Paul Haupt, Bern

Leibundgut H (1982): Leibundgut H, Europäische Urwälder der Bergstufe. Paul Haupt, Bern

Lenk und Kenk (2007): Lenk E, Kenk G, Langfristiges Wachstum Schwarzwälder Plenterwälder. AFZ/Der Wald 3:132-135

LGRB (2013) Bodenkarte von Baden-Württemberg 1: 25 000, digitale Vorabversion (unveröffentlicht). Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Freiburg im Breisgau

Louwagie und Langohr (2005): Louwagie G, Langohr R, Relevance of archaeological experiments on crop productivity for evaluating past land-use systems. In: Meyer M, Wesselkamp G (Hrsg.) Zu den Wurzeln europäischer Kulturlandschaft. Materialhefte zur Archäologie in Baden-Württemberg, vol 73. Theiss, Stuttgart, 57-66

Luley (1992): Luley H, Urgeschichtlicher Hausbau in Mitteleuropa. Hochschulschrift, Habelt, Bonn

Lüning et al. (1980): Lüning J, Meurers-Balke J, Schalich J, Urban B, Lohmeyer W, Schmid B, Thiele H, Weischer B, Experimenteller Getreideanbau im Hambacher Forst, Gemeinde Elsdorf, Kr. Bergheim-Rheinland. Bonner Jahrbücher des Rheinischen Landesmuseums in Bonn (180):305-344

Magny (2013): Magny M, Orbital, ice-sheet, and possible solar forcing of Holocene lake-level fluctuations in west-central Europe: A comment on Bleicher. The Holocene 23 (8): . 1202-1212

Magny (2004): Magny M, The contribution of paleoclimatology to the lake-dwellings. In: Menotti F (Hrsg.) Living on the Lake in prehistoric Europe. 150 Years of lake-dwelling research. Routledge, London,

Maier (2015): Maier U, Degersee 1 und 2: Ergebnisse der archäobotanischen Untersuchungen. In: Mainberger M, Merkt J, Kleinmann A (Hrsg.) Pfahlbausiedlungen am Degersee. Berichte zu Ufer- und Moorsiedlungen Baden-Württembergs. Materialhefte zur Archäologie 102. Theiss, Darmstadt, 303-331

Maier (2004): Maier U, Archäobotanische Untersuchungen in jung- und endneolithischen Moorsiedlungen am Federsee. In: Ökonomischer und ökologischer Wandel am vorgeschichtlichen Federsee. Hemmenhofener Skripte 5. Janus, Freiburg, 71-159

Maier (1999): Maier U, Agricultural activities and land use in a Neolithic village around 3900 BC: Hornstaad Hörnle IA, Lake Constance, Germany. Vegetation history and archaeobotany 8 (1-2):87-94

- Maier und Vogt (2007): Maier U, Vogt R, Pedologisch-moorkundliche Untersuchungen zur Landschafts- und Besiedlungsgeschichte des Federseegebiets. Institut für Geographie der Universität Stuttgart, Stuttgart
- Maier et al. 2016: Maier U, Schlichtherle H, Vogt R, Ein Straßendorf am Federsee. In: Schlichtherle H, Heumüller M, Haack F, Theune-Grosskopf B (Hrsg.) 4000 Jahre Pfahlbauten. Jan Thorbecke Verlag, Ostfildern, 96-102
- Maier et al. (2001): Maier U, Vogt R, Ahrens M, Botanische und pedologische Untersuchungen zur Ufersiedlung Hornstaad-Hörnle IA, vol 74. Siedlungsarchäologie im Alpenvorland 6. Forsch.Ber.Ur- u.Frühgesch.Baden-Württemberg. Theiss, Stuttgart
- Mainberger (2015): Mainberger M, Archäologische Untersuchungen in jung- und endneolithischen Seeufersiedlungen im Degersee. In: Mainberger M, Merkt J, Kleinmann A (Hrsg.) Materialhefte zur Archäologie in Baden-Württemberg 102. Berichte zu Ufer- und Moorsiedlungen vol 6. Theiss, Stuttgart, 9-182
- Mainberger (1998): Mainberger M, Steinzeit in Oberschwaben - Das Moordorf von Reute. Selbstverlag, Staufen
- Mainberger und Mainberger (2010): Mainberger M, Mainberger C, Grenzland? Zum Naturraum und zu den Anfängen bäuerlicher Kultur zwischen Argen und Bodensee. In: Matuschik I, Strahm C (Hrsg.) Vernetzungen. Festschrift für Helmut Schlichtherle. Lavori, Freiburg i. Brsg., 331-345
- Maise (1998): Maise C, Archäoklimatologie: Vom Einfluss nacheiszeitlicher Klimavariabilität in der Ur- und Frühgeschichte. Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Ur- und frühgeschichte 81:197-235
- Marcott et al. (2013): Marcott SA, Shakun JD, Clark PU, Mix AC, A reconstruction of regional and global temperature for the past 11,300 years. Science 339 (6124):1198-1201
- Matuschik (2011): Matuschik IM, Die Keramikfunde von Hornstaad-Hörnle I-VI: Besiedlungsgeschichte der Fundstelle und die Keramikentwicklung im beginnenden 4. Jahrtausend v. Chr. im Bodenseeraum. Siedlungsarchäologie im Alpenvorland XII. Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 122. Theiss, Stuttgart
- Matuschik und Schlichtherle (2016): Matuschik I, Schlichtherle H, Steter Wandel: Von Aichbühl bis zur Schnurkeramik. In: Schlichtherle H, Heumüller M, Haack F, Theune-Grosskopf B (Hrsg.) 4000 Jahre Pfahlbauten. Jan Thorbecke Verlag, Ostfildern, 68-79
- Mauri et al. (2015): Mauri A, Davis B, Collins P, Kaplan J, The climate of Europe during the Holocene: a gridded pollen-based reconstruction and its multi-proxy evaluation. Quaternary Science Reviews 112:109-127
- Mayer und Neumann (1981): Mayer H, Neumann M, Struktureller und entwicklungs-dynamischer Vergleich der Fichten-Tannen-Buchen-Urwälder Rothwald/Niederösterreich und Čorkova Uvala/Kroatien. Forstwissenschaftliches Centralblatt 100 (1): 111-132
- Mazoyer und Roudart (1997) : Mazoyer M, Roudart L, Histoire des Agricultures du monde, du néolithique à la crise contemporaine. Seuil, Paris
- Menotti (2004): Menotti F (Hrsg.), Living on the lake in prehistoric Europe. 150 years of lake dwelling research. Routledge, London/New York

- Menotti und O'Sullivan (2013): Menotti F, O'Sullivan A, The Oxford handbook of wetland archaeology. Oxford University Press, Oxford
- Mertz (2009): Mertz O, Trends in Shifting Cultivation and the REDD mechanism. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 1 (2):156-160
- Mertz et al. (2009): Mertz O, Padoch C, Fox J, Cramb RA, Leisz SJ, Lam NT, Vien TD, Swidden change in Southeast Asia: understanding causes and consequences. *Human Ecology* 37 (3):259-264
- Mertz et al. (2008): Mertz O, Wadley RL, Nielsen U, Bruun TB, Colfer CJ, de Neergaard A, Jepsen MR, Martinussen T, Zhao Q, Noweg GT, A fresh look at Shifting Cultivation: fallow length an uncertain indicator of productivity. *Agricultural Systems* 96 (1):75-84
- Meyer (1958): Meyer L, Die Grundlagen der natürlichen Fruchtbarkeit landwirtschaftlich genutzter Böden mit Beispielen aus eigenen Arbeiten, vol 7. Reden und Abhandlungen. Landwirtschaftliche Schule Hohenheim
- Miedaner und Longin (2012): Miedaner T, Longin F, Unterschätzte Getreidearten. Einkorn, Emmer, Dinkel & Co., Agrimedia. Erling Verlag GmbH & Co. KG, Clenze
- Miller und Page (2009): Miller JH, Page SE, Complex adaptive systems: An introduction to computational models of social life. Princeton university press, Princeton and Oxford
- Mithen (1990): Mithen SJ, Thoughtful foragers: A study of prehistoric decision making. Cambridge University Press, Cambridge
- Mitscherlich (1952): Mitscherlich G, Der Tannen-Fichten-(Buchen)-Plenterwald. Schriftenreihe d Bad Forstl Versuchsanst 8
- Müller et al. (2007): Müller, L., Schindler, U., Behrendt, A., Eulenstein, F., Dannowski, R., Schindwein, S. L., & Rogasik, J. (2007). The Muencheberg Soil Quality Rating (SQR): Field manual for detecting and assessing properties and limitations of soils for cropping and grazing. Report, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), Müncheberg: Germany.
- Nendel et al. (2011): Nendel C, Berg M, Kersebaum K, Mirschel W, Specka X, Wegehenkel M, Wenkel K, Wieland R, The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. *Ecological Modelling* 222 (9):1614-1625
- Nendel et al. (2014): Nendel C, Kersebaum K, Mirschel W, Wenkel K (2014) Testing farm management options as climate change adaptation strategies using the MONICA model. *European Journal of Agronomy* 52:47-56
- Nicolussi et al. (2004): Nicolussi K, Lumassegger G, Patzelt G, Pindur P, Schiessling P, Aufbau einer holozänen Hochlagen-Jahrring-Chronologie für die zentralen Ostalpen: Möglichkeiten und erste Ergebnisse. *Innsbrucker Geographische Gesellschaft (Hrsg): Innsbrucker Jahresbericht* 2 (16):114-136
- Nicolussi et al. (2013): Nicolussi K, Matuschik I, Tegel W, Klimavariabilität und Siedlungsdynamik am Beispiel der Feuchtbodensiedlungen im Raum Oberschwaben, Bodensee und Nordostschweiz 4400-3400 BC. In: Bleicher N, Schlichtherle H, Gassmann P, Martinetti N (Hrsg.) *Dendrochronologie, -typologie, -ökologie*. Beier und Beran, Langenweißbach
- Nicolussi et al. (2009): Nicolussi K, Kaufmann M, Melvin TM, Van Der Plicht J, Schießling P, Thurner A, A 9111 year long conifer tree-ring chronology for the European Alps: a base for environmental and climatic investigations. *The Holocene* 19 (6):909-920



- Nilsson et al. (2002): Nilsson SG, Niklasson M, Hedin J, Aronsson G, Gutowski J, Linder P, Ljungberg H, Mikusinski G, Ranius T, Densities of large living and dead trees in old-growth temperate and boreal forests. *Forest Ecol Manag* 161:189-204
- Nye und Greenland (1961): Nye PH, Greenland DJ, The soil under Shifting Cultivation. *Soil Science* 92 (5):354
- Palm et al. (1996): Palm CA, Swift MJ, Woomeer PL, Soil biological dynamics in slash-and-burn agriculture. *Agriculture, ecosystems & environment* 58 (1):61-74
- Pausas und Keeley (2009): Pausas JG, Keeley JE, A burning story: the role of fire in the history of life. *BioScience* 59 (7):593-601
- Pazeller (2000): Pazeller A, Digitale Bodeneignungskarte der Schweiz. Bundesamt für Statistik. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home.html>
- Pétrequin (1991) : Pétrequin P, Construire une maison 3000 ans avant J.-C. Le lac de Chalain au néolithique. Ed. Errance, Paris
- Pétrequin (1996): Pétrequin P, Management of architectural woods and variations in population density in the fourth and third millennia BC (Lakes Chalain and Clairvaux, Jura, France). *Journal of Anthropological Archaeology* 15 (1):1-19
- Pétrequin et al. (1998): Pétrequin P, Arbogast RM, Bourquin-Mignot C, Lavier C, Viellet A, Demographic growth, environmental changes and technical adaptations: responses of an agricultural community from the 32nd to the 30th centuries BC. *World Archaeology* 30 (2):181-192
- Pfister (2001): Pfister C, Klimawandel in der Geschichte Europas. Zur Entwicklung und zum Potenzial der historischen Klimatologie. *Österreichische Zeitschrift für Geschichtswissenschaften* 12 (2):7-42
- Pillonel (2007) : Pillonel D, Hauterive-Champréveyres, 14. Technologie et usage du bois au Bronze final. *Archéologie neuchâteloise* 37. Office et Musée Cantonal d'Archéologie., Neuchâtel
- Poulton (2006): Poulton P, Rothamsted research: guide to the classical and other long-term experiments, datasets and sample archive. Lawes Agric Trust Co, Harpenden, UK
- Price (2000): Price TD, Europe's first farmers. Cambridge University Press, Cambridge
- Rasmussen, P. (1989). Leaf foddering in the earliest Neolithic agriculture. Evidence from Switzerland and Denmark. *Acta archaeologica*, 60, 71-86
- Rasmussen et al. (1998): Rasmussen PE, Gouling KW, Brown JR, Grace PR, Janzen HH, Körschens M, Long-term agroecosystem experiments: assessing agricultural sustainability and global change. *Science* 282 (5390):893-896
- Remmert (1991): Remmert H, Das Mosaik-Zyklus-Konzept und seine Bedeutung für den Naturschutz: Eine Übersicht. *Laufener Seminarbeiträge* 5 (91):5-15
- Renssen (2009): Renssen H, Seä H, Heiri O, Roche D, Goosse H, Fichet T, The spatial and temporal complexity of the Holocene thermal maximum. *Nature Geoscience* 2 (6):411-414
- Reynolds (1992): Reynolds PJ, Crop yields of the prehistoric cereal types emmer and spelt: the worst option. *Préhistoire de l'agriculture : nouvelles aroches expérimentales et ethnographiques*:383-393
- Röder et al. (2013): Röder B, Pichler S, Doppler T, Coping with crises II: The impact of social aspects on vulnerability and resilience. In: Kerig T, Zimmermann A (Hrsg.) *Economic archaeology: from struc-*

ture to performance in European archaeology, vol 237. Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie. Habelt, Bonn, 177-190

Rösch (1994): Rösch M, Gedanken zur Auswirkung (prä)-historischer Holznutzung auf Wälder und Pollendiagramme. In: Lotter A, Ammann B (Hrsg.) Festschrift Gerhard Lang. Beiträge zur Systematik und Evolution, Floristik und Geobotanik, Vegetationsgeschichte und Paläoökologie, vol 234. Dissertationes Botanicae. J Cramer, Stuttgart, 447-472

Rösch (1990): Rösch M, Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen im Durchenbergried. In: Siedlungsarchäologie im Alpenvorland 2. Forsch. u. Ber. z. Vor- u. Frühgeschichte Bad.-Württ. 37. Stuttgart 1990, 9-56

Rösch (1987): Rösch M, Zur Umwelt und Wirtschaft des Neolithikums am Bodensee—Botanische Untersuchungen in Bodman-Blissenhalde. Archäologische Nachrichten aus Baden 38:42-53

Rösch und Lechterbeck (2016): Rösch M, Lechterbeck J, Seven Millennia of human impact as reflected in a high-resolution pollen profile from the profundal sediments of Litzelsee, Lake Constance region, Germany. *Vegetation History and Archaeobotany*:1-20

Rösch et al. (2014): Rösch M, Kleinmann A, Lechterbeck J, Wick L, Botanical off-site and on-site data as indicators of different land use systems: a discussion with examples from Southwest Germany. *Vegetation History and Archaeobotany* 23 (1):121-133

Rösch et al. (2002): Rösch M, Ehrmann O, Herrmann L, Schulz E, Bogenrieder A, Goldammer JP, Hall M, Page H, Schier W, an experimental approach to Neolithic Shifting Cultivation. *Vegetation history and archaeobotany* 11 (1-2):143-154

Rossmann (1996): Rossmann D, Lebensraumtyp Nieder- und Mittelwälder, vol II.13. Landschaftspflegekonzept Bayern (LPK). Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL), München

Rötter et al. (2012): Rötter RP, Palosuo T, Kersebaum KC, Angulo C, Bindi M, Ewert F, Ferrise R, Hlavinka P, Moriondo M, Nendel C, Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: a comparison of nine crop models. *Field Crops Research* 133:23-36

Ruhlé und Looser (1991): Ruhlé C, Looser B, Ergebnisse von Untersuchungen über die Wanderung von Rothirschen (*Cervus elaphus* L.) in den Kantonen St. Gallen und Graubünden (Schweiz) und der Nachbar-Kantone sowie im Land Vorarlberg (Österreich) und im Fürstentum Liechtenstein. *Zeitschrift für Jagdwissenschaft* 37 (1):13-23

Ruoff (1995): Ruoff U, Auf dem Weg zur Unterwasserarchäologie. In: Baden-Württemberg L (Hrsg.) Archäologie unter Wasser 1: Forschungen und Berichte zur Unterwasserarchäologie zwischen Alpenrand-Seen und Nordmeer, vol 33. Archäologische Informationen aus Baden-Württemberg. Gesellschaft für Vor- und Frühgeschichte in Württemberg und Hohenzollern, Stuttgart, 13-20

Ruoff (1981): Ruoff U, Die Entwicklung der Unterwasserarchäologie im Kanton Zürich. *Helvetia Archaeologica* 45/48:62-70

Salamini et al. (2002): Salamini F, Özkan H, Brandolini A, Schäfer-Pregl R, Martin W (2002) Genetics and geography of wild cereal domestication in the Near East. *Nature Reviews Genetics* 3 (6):429-441

Salo et al. (2016): Salo T, Palosuo T, Kersebaum KC, Nendel C, Angulo C, Bindi M, Ewert F, Ferrise R, Hlavinka P, Moriondo M, Olesen JE, Patil R, Ruget F, Takáč J, Trnka M, Rötter RP, Comparing the per-

formance of eleven agro-ecosystem models in predicting crop yield response to nitrogen under Finnish weather conditions. *Journal of agronomic science*

Saqalli und Baum (2016): Saqalli M, Baum T, Pathways for scale and discipline reconciliation: current socio-ecological modelling methodologies to explore and reconstitute human prehistoric dynamics. In: *Simulating Prehistoric and Ancient Worlds*. Springer, Cham, 233-254

Schäperclaus (1936): Schäperclaus W, Eine neue Klasseneinteilung für die Naturalroherträge mitteleuropäischer Binnenseen. *Zeitschr f Fischerei* Bd 34 (8)

Scheffer und Schachtschabel (2010): Scheffer F, Schachtschabel P, Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Aufl. edn. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg

Schibler (2008): Schibler J, Die wirtschaftliche Bedeutung der Viehzucht während des 3. Jahrtausends v.Chr. aufgrund der Tierknochenfunde der Fundstellen im Schweizer Alpenvorland. In: Dörfler W, Müller J (Hrsg.) *Umwelt - Wirtschaft - Siedlungen im 3. vorchristlichen Jahrtausend Mitteleuropas und Südschwedens*, vol 84. Offa Bücher. Neumünster 379 - 391

Schibler (2006): Schibler J, The economy and environment of the 4th and 3rd millennia BC in the northern Alpine foreland based on studies of animal bones. *Environmental Archaeology* 11 (1):49-64

Schibler (2004): Schibler J, Bones as a key for reconstructing the environment, nutrition and economy of the lake-dwelling societies. In: Menotti F (Hrsg.) *Living on the lake in prehistoric Europe*. Routledge, New York, 144-162

Schibler und Jacomet (2010): Schibler, J., & Jacomet, S. (2010). Short climatic fluctuations and their impact on human economies and societies: the potential of the Neolithic lake shore settlements in the Alpine foreland. *Environmental archaeology*, 15(2), 173-182.

Schibler et al. (1997): Schibler J, Jacomet S, Hüster-Plogmann H, Brombacher C, Gross-Klee E, Rast-Eicher A, Ökonomie und Ökologie neolithischer und bronzezeitlicher Ufersiedlungen am Zürichsee: Ergebnisse der Ausgrabungen Mozartstrasse, Kanalisationssanierung Seefeld, AKAD/Pressehaus und Mythenschloss in Zürich. Fotorotar AG, Zürich; Egg

Schier (2017): Schier W, Die Tertiäre Neolithisierung – Fakt oder Fiktion? In: J. Lechterbeck, E. Fischer (Hrsg.), *Kontrapunkte*. Festschrift für Manfred Rösch. Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie 300. Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn, 129-145

Schier (2009): Schier W, Extensiver Brandfeldbau und die Ausbreitung der neolithischen Wirtschaftsweise in Mitteleuropa und Südschweden am Ende des 5. Jahrtausends v. Chr. *Praehistorische Zeitschrift* 84 (1):15–43

Schier et al. (2013): Schier W, Rösch M, Ehrmann O, The economics of Neolithic swidden cultivation: Results of an experimental long-term project in Forchtenberg (Baden-Württemberg, Germany). In: Kerig T, Zimmermann A (Hrsg.) *Economic Archaeology: From Structure to Performance in European Archaeology*, vol 237. Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie. Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn, 97-108

Schlichtherle (2006): Schlichtherle H, Große Häuser - kleine Häuser. Archäologische Befunde zum Siedlungswandel am neolithischen Federsee. In: Köninger J, Schlichtherle H (Hrsg.) *Ökonomischer und Ökologischer Wandel am vorgeschichtlichen Federsee*. Hemmenhofener Skripte 5. Janus, Freiburg, 13-55

- Schott (1936): Schott C, Landnahme und Kolonisation in Canada am Beispiel Südontarios. Schriften des Geographischen Institutes der Universität Kiel 6. Schmieder - Wenzel - Wilhelmy, Kiel
- Schuster (1997): Schuster W, Welchen Beitrag leistet die Pflanzenzüchtung zur Leistungssteigerung von Kulturpflanzen. Pflanzenbauwissenschaften 1:9-18
- Schweichel (2013): Schweichel R, Beyond Dating - Beobachtungen an Hölzern aus dem Pfahlfeld auf dem Orkopf. In: Bleicher N, Schlichtherle H, Gassmann P, Martinetti N (Hrsg.) Dendrochronologie, -typologie, -ökologie. Beier und Beran, Langenweißbach
- Shennan et al. (2013): Shennan S, Downey SS, Timpson A, Edinborough K, Colledge S, Kerig T, Manning K, Thomas MG, Regional population collapse followed initial agriculture booms in mid-Holocene Europe. Nature Communications 4
- Sigaut (1975): Sigaut F, L'agriculture et le feu. Paris
- Silva-Forsberg und Fearnside (1997): Silva-Forsberg MC, Fearnside PM, Brazilian Amazonian caboclo agriculture: effect of fallow period on maize yield. Forest Ecology and Management 97 (3):283-291
- Smerdel I (2014): Smerdel I, Fire Clearance Husbandry in Slovenija. In: Gijn Av, Whittaker JC, Anderson PC (Hrsg.) Exploring and Explaining Diversity in Agricultural Technology, vol 2. Oxbow Books, Oxford
- Sormaz (2004): Sormaz T, Absolute Datierung durch Dendrochronologie und C14 Analysen. In: Jacomet S, Leuzinger U, Schibler J (Hrsg.) Die jungsteinzeitliche Seeufersiedlung Arbon – Bleiche 3. Umwelt und Wirtschaft., vol 12. Archäologie im Thurgau. Frauenfeld, 112-156
- Specka et al. (2016): Specka X, Nendel C, Hagemann U, Pohl M, Hoffmann M, Barkusky D, Augustin J, Sommer M, van Oost K, Reproducing CO<sub>2</sub> exchange rates of a crop rotation at contrasting terrain positions using two different modelling approaches. Soil and Tillage Research
- Stahr und Peyer (1997): Stahr K, Peyer K, Böden und Bodenverbreitung. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 82:115-158
- Steensberg (1957): Steensberg A, Some recent Danish experiments in Neolithic agriculture. The Agricultural History Review 5 (2):66-73
- Steensberg (1993): Steensberg A, Fire-clearance husbandry: traditional techniques throughout the world. Paul Christensen, Herning
- Stephan (2015): Stephan E, Die Knochenfunde aus den Seeufersiedlungen im Degersee. In: Mainberger M, Merkt J, Kleinmann A (Hrsg.) Berichte zu Ufer- und Moorsiedlungen 6. Materialhefte zur Archäologie in Baden-Württemberg 102. Theiss, Stuttgart, 345-384
- StMELF (2016) Organische Düngung: Stallmist, Jauche, Geflügelkot. LfL Bayern. <https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/032721/index.php>. Accessed 04.07.2016
- Stöckle et al. (2001): Stöckle C, Nelson R, Donatelli M, Castellvi F ClimGen: a flexible weather generation program. In: 2nd International Symposium Modelling Croing Systems. Florence, Italy, 2001. 16-18
- Stöckli et al. (1996): Stöckli WE, Niffeler U, Gross-Klee E, Die Schweiz vom Paläolithikum bis zum frühen Mittelalter II: Neolithikum. Verlag Schweizerische Gesellschaft für Ur-und Frühgeschichte, Basel
- Styring et al. (2016): Styring A, Maier U, Stephan E, Schlichtherle H, Bogaard A, Cultivation of choice: new insights into farming practices at Neolithic lakeshore sites. Antiquity 90 (349):95-110

- Suter (1987): Suter P, Zürich „Kleiner Hafner“. Tauchgrabungen 1981-84. Berichte der Zürcher Denkmalpflege 3
- Suter und Francuz (2010): Suter P, Francuz J, Dendrochronologie: Datierung-Dorfgeschichte-Waldnutzung der Ufersiedlung Sutz-Lattrigen-Rütte am Bielersee. In: Matuschik I, Strahm C (Hrsg.) Vernetzungen. Lavori, Freiburg, 179-207
- Suter und Schlichtherle (2009): Suter PJ, Schlichtherle H, Pfahlbauten: UNESCO Welterbe-Kandidatur Prähistorische Pfahlbauten rund um die Alpen= Palafittes: candidature au Patrimoine mondial de l'UNESCO 'Sites palafittiques préhistoriques autour des Alpes' = Palafitte: candidatura a patrimonio mondiale dell'UNESCO 'Siti palafitticoli preistorici dell'arco alpino = Pile dwellings = Kolišča. Palafittes-Verein zur Unterstützung der UNESCO Welterbe-Kandidatur" Prähistorische Pfahlbauten rund um die Alpen" c/o Archäologischer Dienst des Kantons Bern
- Suter und Schibler (1996): Suter P, Schibler J, Ernährung während der Jungsteinzeit am Bielersee: Modelle und Hypothesen. In: Beier H-J (Hrsg.) Studien zum Siedlungswesen im Jungneolithikum. Beiträge der Sitzung der AG Neolithikum, Kempten/Allgäu, 1995, 1996. Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte Mitteleuropas 10. 23-42
- Swedlund et al. (2015): Swedlund A, Sattenspiel L, Warren A, Gumerman G, Modeling Archaeology: Origins of the Artificial Anasazi Project and beyond. In: Wurzer G, Kowarik K, Reschreiter H (Hrsg.) Agent-based Modeling and Simulation in Archaeology, vol 21. vol 2. Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London, 37-50
- Tassiopoulos (1977): Tassiopoulos D, Ertragsbildung, Nährstoffbilanz und Faktoren der Bodenfruchtbarkeit in einem langjährigen Erschöpfungsversuch in Gießen. Hochschulschrift, Gießen
- Thomas (1972): Thomas D, A Computer Simulation Model Of Great Basin Shoshonean Subsistence and Settlement. In: Clarke DL (Hrsg.) Models in Archaeology. Methuen, London, 671-704
- Thwaites (1896): Thwaites RG, The Jesuit Relations and Allied Documents: Travels and Explorations of the Jesuit Missionaries in New France, 1610-1791. Burrows Brothers, Cleveland
- Tobler (1993): Tobler W, Non-isotropic geographic modeling. Technical report 93/1. University of California, Santa Barbara
- Turcek (1971): Turcek S, Productivity of forest ecosystems. Proceedings of the Brussels Symposium. In: Brussels Symposium, 1971. UNESCO, 379-384
- Tüxen (1956): Tüxen R, Die heutige potenzielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. Angewandte Pflanzensoziologie 13:5-42
- van Bath (1963): van Bath S, The agrarian history of Western Europe : A. D. 500 - 1850 / B. H. London, Arnold
- Vinther et al. (2006): Vinther BM, Clausen HB, Johnsen SJ, Rasmussen SO, Andersen KK, Buchardt SL, Dahl-Jensen D, Seierstad IK, Siggaard-Andersen ML, Steffensen JP, Svensson A, Olsen J, Heinemeier J (2006): A synchronized dating of three Greenland ice cores throughout the Holocene. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 111 (D13):D13102. doi:10.1029/2005JD006921
- Vogt (2014): Vogt R, Kolluvien als Archive für anthropogen ausgelöste Landschaftsveränderungen an Beispielen aus der westlichen Bodenseeregion. Darmstadt
- Vogt (2001): Vogt R, Bodengesellschaften im Umfeld neolithischer Ufersiedlungen von Hornstaad-Hörnle am Bodensee mit Diskussion der landbaulichen Nutzungsmöglichkeiten zur Zeit des Neolithi-

kums und heute. In: Maier U, Vogt R, Ahrens M (Hrsg.) Botanische und pedologische Untersuchungen zur Ufersiedlung Hornstaad-Hörnle IA. Siedlungsarchäologie im Alpenvorland VI. Forsch.Ber.Ur- u.Frühgesch.Baden-Württemberg, vol 74. Theiss, Stuttgart

Walthert et al. (2004): Walthert L, Zimmermann S, Luster J, Blaser P, Lüscher P, Waldböden der Schweiz, Band 1, Grundlagen und Region Jura. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL Birmensdorf. Hep, Bern

Wanner et al. (2008): Wanner H, Beer J, Bütikofer J, Crowley TJ, Cubasch U, Flückiger J, Goosse H, Grosjean M, Joos F, Kaplan JO, Mid-to Late Holocene climate change: an overview. Quaternary Science Reviews 27 (19):1791-1828

Wastl (2008): Wastl C, Klimatologische Analyse von orographisch beeinflussten Niederschlagsstrukturen im Alpenraum. Ludwigs-Maximilian-Universität, München

Wehrle (1956): Wehrle G, Über den Reutfeldbau im Simonswälder Tal. Ethnografisch-archäologische Forschungen 4

Weischet und Endlicher (2000): Weischet W, Endlicher W, Regionale Klimatologie Teil 2. Teubner, Stuttgart

Wick (2015): Wick L, Palynologische On-Site Untersuchungen an Kurzprofilen vom Siedlungsplatz Degersee I. In: Mainberger M, Merkt J, Kleinmann A (Hrsg.) Pfahlbausiedlungen am Degersee, vol VI. Berichte zu Ufer- und Moorsiedlungen Südwestdeutschlands. Materialhefte zur Archäologie in Baden-Württemberg 102. Theiss, Stuttgart 285-303

Wild (1850): Wild J, Topographische Karte des Kantons Zürich 1:25000. <http://maps.zh.ch/?topic=WildkarteZH>

Wilensky (2015): Wilensky U, An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo. MIT Press

Wilensky (1999): Wilensky U, NetLogo (and NetLogo user manual). Center for connected learning and computer-based modeling, Northwestern University, Evanston

[www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html). Accessed 03.07.2016

[www.tfz.bayern.de/festbrennstoffe/brennstoffe/035110/index.php](http://www.tfz.bayern.de/festbrennstoffe/brennstoffe/035110/index.php). Accessed 03.05.2016

Zhang et al. (2007): Zhang DD, Brecke P, Lee HF, He Y-Q, Zhang J, Global climate change, war, and population decline in recent human history. Proceedings of the National Academy of Sciences 104 (49):19214-19219

Zimmermann et al. (2006): Zimmermann S, Luster J, Blaser P, Walthert L, Lüscher P, Waldböden der Schweiz, Band 3, Regionen Mittelland und Voralpen. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL Birmensdorf. Hep, Bern

# 13 Anhang

## 13.1 Getreideerträge und Deckungsbeträge für verschiedene Szenarien

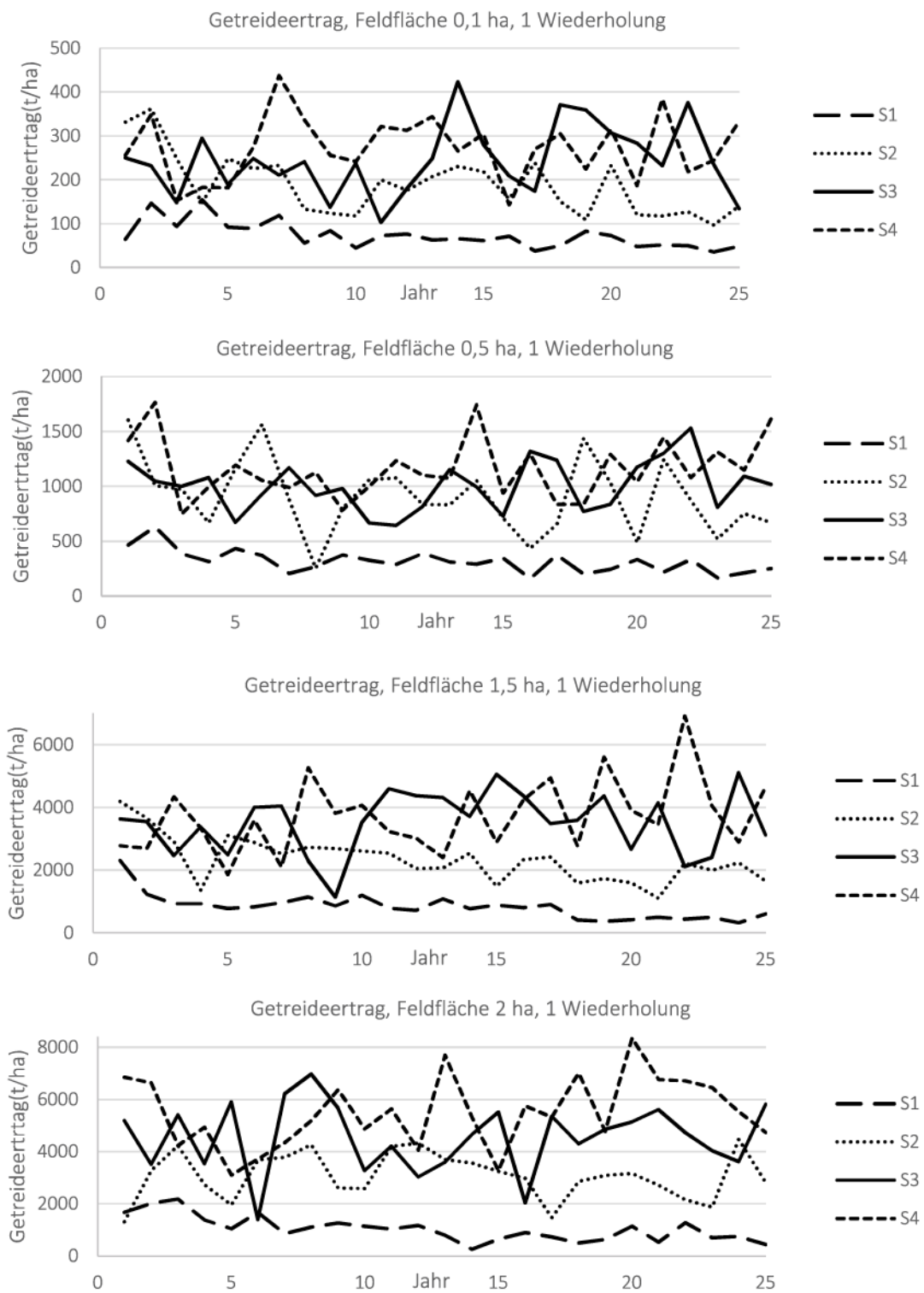


Abb. 61: Getreideerträge unter Annahme verschiedener Feldflächen und Anbauverfahren (siehe Tabellen 12 und 13)

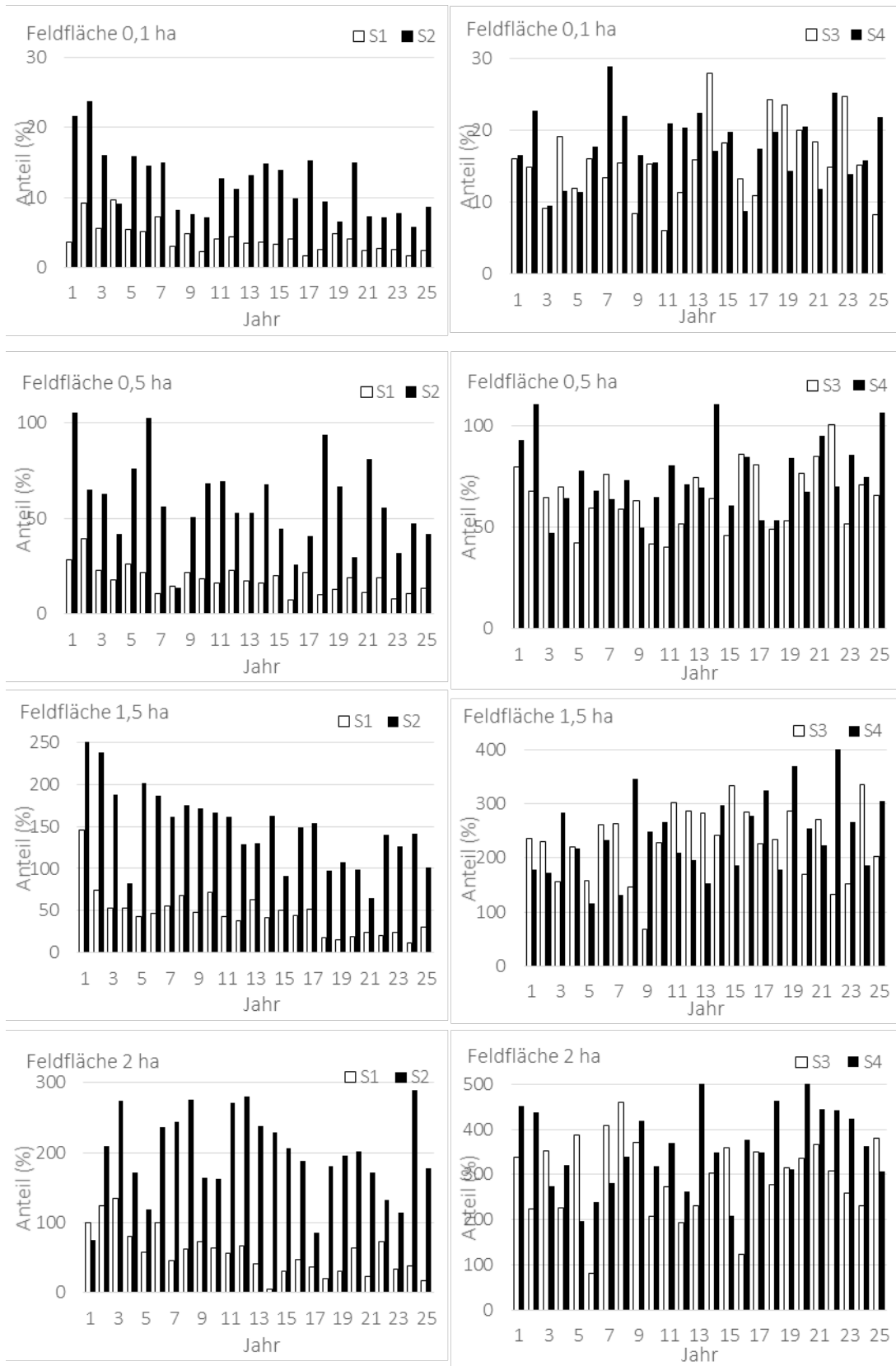


Abb. 62: Potenzieller Anteil von Getreide am Jahreskalorienbedarf unter Annahme verschiedener Feldflächen und Anbauverfahren, basierend auf Abb. 61



### 13.2 Angaben zu Baumzahlen aus verschiedenen Untersuchungen

*Anzahl der lebenden Buchen pro ha*

Stärkestufe cm	Probefläche Abteilung 2 (und 62)	Probefläche Abteilung 3	Probefläche Abteilung 55	Mittel aller Probeflächen
1– 3,9	81	179	107	122
4– 7,9	108	193	126	142
8– 11,9	81	69	110	87
12– 15,9	40	38	71	50
1– 15,9	310	479	414	401
16– 19,9	28	31	54	38
20– 23,9	20	22	45	29
16– 23,9	48	53	99	67
24– 27,9	16	20	54	30
28– 31,9	13	22	43	26
32– 35,9	9	22	46	26
24– 35,9	38	64	143	82
36– 39,9	11	17	18	15
40– 43,9	10	18	22	17
44– 47,9	9	15	25	16
48– 51,9	11	13	13	12
36– 51,9	41	63	78	60
52– 55,9	14	16	14	15
56– 59,9	12	10	6	9
60– 63,9	10	5	4	6
64– 67,9	9	6	4	6
68– 71,9	8	4	3	5
52– 71,9	53	41	31	41
72– 75,9	6	6	2	4
76– 79,9	2	4	–	2
80– 83,9	6	4	–	3
84– 87,9	2	6	1	3
88– 91,9	1	4	1	2
92– 95,9	2	4	–	2
72– 95,9	19	28	4	16
96– 99,9	2	1	–	1
100–103,9	2	–	–	1
104–107,9	1	1	–	1
96–107,9	5	2	–	3
1–107,9	514	730	769	670

Abb. 63: Darstellung der Stammzahl in verschiedenen Stärkeklassen im Buchenurwald Kukavica (Serbien) nach Leibundgut (1993, S. 50)

*Stammzahlen pro ha der lebenden Bäume in den Probeflächen*

Entwicklungsphase	Probe- fläche	Ober- schicht	Mittel- schicht	Unter- schicht	Total
alle Phasen	1	133	73	210	416
frühe Optimalphase	2	208	356	232	796
späte Zerfallsphase	3	120	132	150	402
späte Optimalphase	4	138	75	35	248
Plenterwaldphase	5	162	161	300	623

*Verteilung des Vorrates nach Stärkeklassen und Zuwachsleistung pro ha*

Stärkeklasse cm	Stammzahl	Grundfläche m <sup>2</sup>	Derbholz- vorrat m <sup>3</sup>	Laufender Zuwachs m <sup>3</sup>	Massen- zuwachs- Prozent
10 bis 20	148	2,46	13	0,33	2,5
21 bis 40	98	6,80	73	1,03	1,4
41 bis 60	53	10,84	160	1,61	1,0
61 bis 80	48	18,58	305	2,26	0,7
81 bis 100	39	24,08	392	1,91	0,5
101 bis 120	13	11,78	197	0,83	0,4
121 bis 140	8	11,02	183	0,57	0,3
141 und mehr	1	1,59	30	0,06	0,2
Total	408	87,15	1353	8,60	0,6

Abb. 64: Stammzahlen über alle Stärkeklassen in Waldbeständen verschiedener Entwicklungsphasen, getrennt nach Ober-, Mittel- und Unterschicht (oben) und mittlere Stammzahlen pro ha für unterschiedliche Stärkeklassen im Urwald Peručica in Bosnien nach Leibundgut (1993, S. 63 u. 69)

Densities (number per ha) of living trees of different minimum sizes (dbh in cm) in old-growth forests in Europe<sup>a</sup>

	Minimum tree sizes							
	10	20	30	40	50	60	70	80
Fango	268	250	95	48	38	22	6	2
Fontainebleau	263	133	72	48	37	33	24	12
Fontainebleau	224	175	132	88	64	44	28	19
Dobrocský prales	173	123	123	93	77	58	34	16
Białowieża 314C	471	301	241	191	130	71	30	17
Białowieża 398	460	310	240	140	86	48	18	10
Białowieża 317	401	181	101	61	44	32	22	17
Białowieża 317D	704	284	144	34	14	7	5	5
Białowieża 340C	236	186	126	86	50	31	13	9
Białowieża 399C	334	284	154	94	50	22	13	10
Siggaboda	402	268	183	113	39	13	4	1
Bjurkärr	445	255	151	92	43	23	12	5
Harön	335	195	175	125	65	24	6	2
Swedish taiga	1081	455	190	64	15	1	0	0
Kirjesäländet	501	182	60	18	3	1	1	0
Seitsemien N.P.	1158	232	120	74	37	0	0	0
Seitsemien N.P.	926	462	181	64	32	8	4	0
Seitsemien N.P.	597	366	109	49	12	3	0	0

<sup>a</sup> Note that values are cumulative from right to the left. The forest plots are listed in the same order as in Table 1.

Abb. 65: Stammzahlen pro ha in naturnahen, urwaldähnlichen temperierten und borealen Wäldern Europas nach Nilson et al. (2002). Die Angaben sind für Stärkeklassen von 10-80 cm differenziert und sind von rechts nach links kumulativ aufgetragen. Die Lokalitäten in der ersten Spalte sind von Süd nach Nord sortiert. Bis zur Zeile „Harön“ sind die Wälder Laumischwälder verschiedener Zusammensetzung, darunter vorwiegend Nadelwälder

### 13.3 ODD-Protokoll des Modells WELASSIMO\_feldbau

The model description follows the ODD (Overview, Design concepts, Details) protocol for describing individual- and agent-based models (Grimm et al. 2006, 2010).

#### Purpose

In the prehistoric wetland settlements in the northwestern pre-alpine forelands, people settled since the Late Neolithic. Despite much is known about their subsistence strategies, especially with regard to crop husbandry many questions still remain unanswered and antithetical hypotheses are discussed.

WELASSIMO\_crops aims at understanding the effects and implications of several hypotheses of pre-historic crop husbandry methods on the landscape development and the socio-ecological system of the wetland sites. These published hypotheses have been set up using (bio-) archaeological data integrating ongoing research (Bogaard 2004, Brombacher and Jacomet 1997, Ehrmann et al. 2014, 2009, Jacomet et al. 2016). The following hypotheses are used:

- 1) Intensive Garden Cultivation (igc). This hypothesis assumes a permanent cultivation on fields that are prepared using hoes.
- 2) Shifting Cultivation using long fallows of 15 years (scl) or short fallows of 8 years (scs). This hypothesis does not include the use of ploughs as well and is also termed Wald-feldbau, Jhum, and other names. The crop fields are prepared using a burning method by which vegetation is cleared and nutrients are sulked to the future crops.
- 3) Plough cultivation (pc). The hypothesis assumes the use of simple ploughs that are drawn by draft animals.

The main goals of the model are answers to the following questions:

- What was the spatial extent and the workload for crop cultivation under the assumption of different husbandry methods?
- What was the potential cereal share of the total annual calorie supply of the prehistoric wetland sites for given field sizes and husbandry methods?
- Which were the socio-ecological implications of the crop husbandry methods?
- Can statements regarding the plausibility of the crop husbandry methods be deduced from the simulation results?

#### Entities, state variables, and scales

The model landscape consists of 200x200 grid cells of 25x25 m each (=1/16 ha). The cells are distinguished by the variables “psoiltype” which indicates the soiltype of the cell, “pfertility” which describes the soil fertility of the cell, “ecosystem” indicating the hypothetical assumed natural ecosystem on the patch around 4000 BC, “pstandage” indicating the forest development phase of the vegetation cover on the cell, “pfield use” and “pfallow”, if the cell is currently fallowing.

The only “acting” agents are standardized model houses with six inhabitants and an annual calorie demand of  $6 \cdot 365 \cdot 2000$  kcal. Every house has the variables “HEcropyield” [kg] displaying the annual

crop yield, “HEcropstore” [kg] displaying the annually consumable cereals, “HEfielddistance” [m] for the maximum distances of the houses’ fields, and „WL\_1“ – „WL\_12“ [h], displaying the average daily workload for crop husbandry for every month of the year as calculated from the model parameters

. Further “non-acting” agents are “burntfields” that are used for graphically representing the Shifting Cultivation procedure, and “cereals”, which are grown on field cells. Cereals have variables denoting their owner and their annual yield on the cell.

The model parameters “crop husbandry method” defines the crop husbandry method alied by all houses, “Hectare” indicates the field size valid for every house, “Anzahl” defines the number of houses in the settlement, and “Dung” indicates whether or not manure is alied (in the rate of 10 T/ha/a).

The temporal resolution of the model is 1 year, the spatial resolution is 25 m.

The relationship between model concepts is displayed in fig. 1

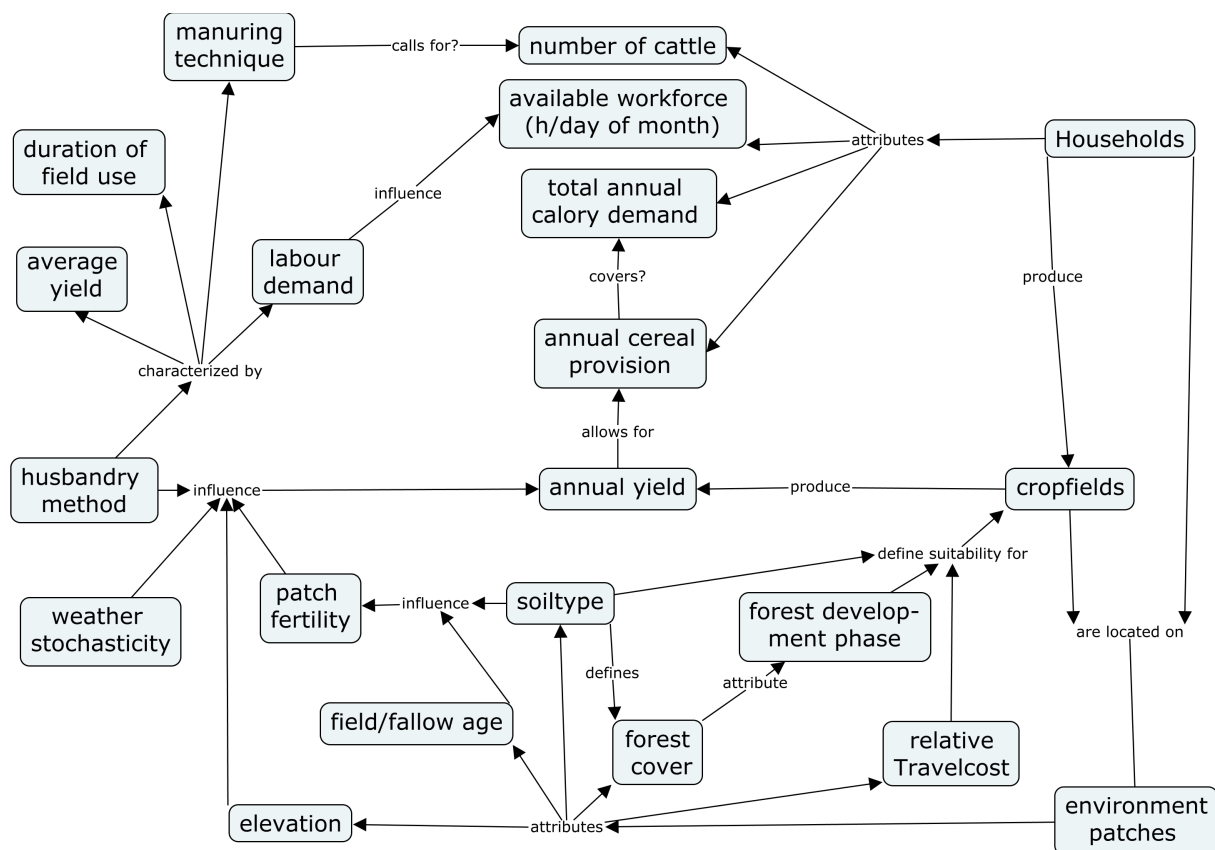


Fig. 1: Relationship of the concepts used in WELASSIMO\_feldbau

### Process overview and scheduling

1. The influence of the annual weather on the crop yields is defined
2. The houses check whether a new field has to be prepared
3. The houses open and prepare new fields, if indicated.
4. Crops grow on crop fields, the yield is determined

5. Houses harvest their crops and update their variable „HEcropyield“
6. Cells update their variables „pfielduse“, „pfieldage“, „pfallow“ and “pfertility”
7. The model output and the plots are updated.

## Design concepts

### *Basic principles*

In the model, the annual cereal share of the total annual calorie supply of the model houses as well as the overall anthropogenically affected area is calculated using various scenarios as defined by the model parameters “Hectare” (field size per house) and “crop husbandry method”. The agronomic details of the husbandry methods are drawn from the literature where possible (e.g. Bogaard 2004, Bogaard et al. 2013, Ehrmann et al. 2009, 2014, Jacomet et al. 2016, Jepsen et al. 2006, Kerig 2007), or have been defined specifically where necessary. The calculation of the annual crop yield integrates the effects of different manuring regimes, nutrient depletion through crop cultivation, and the influence of annual weather variability. The respective database has been specifically set up using a published agro-ecosystem model (Nendel et al. 2011; for the database, see Baum et al. 2016). The model landscape is described using basic properties, which are assumed to have been relevant for the prehistoric crop husbandry. For the landscape design, a “real” landscape close to known prehistoric wetland sites has been used, in which spatial data was available in high resolution. At the time  $t=0$ , the landscape is dominated by different ecosystems (see below), the forested ones exhibiting natural forest dynamics. These are simulated using the “Mosaik-Zyklus-Konzept” (Remmert 1991) and other concepts. Human influence through vegetation opening and the generation of secondary forest growth is simulated as well.

*Emergence.* The only emergent feature of the model is the distribution of vegetation patterns. The initial distribution of forest development phases follows certain rules but is ultimately random (see below), and similarly, the landscape design as resulting from the crop husbandry method “Shifting Cultivation” is not predictable.

*Adaptation.* The agents have no adaptive traits, their behavior is determined by the code.

*Objectives.* The houses have no individual aim other than cultivating the field size set by the observer. They don’t have any options to choose from.

*Sensing.* The houses are capable of identifying the most suitable field patches for cultivation. These are defined by travel costs, soiltype, and vegetation cover.

*Interaction.* Houses interact with cells by clearing their vegetation and using them as crop fields. The cells’ variable pfertility is influenced by the duration of field use on the patch and influences the crop yield of the patch.

*Stochasticity.* The crop yield of the fields is calculated integrating the stochastic variability of the annual weather. The spatial localization of the forest patches formed by the forest development phases is stochastic, too.

*Collectives.* Houses are not individually dispersed in the landscape but group on one defined cell. The crop fields of the houses consist of several cells which make up the houses crop yield.

Observation.

- The maximal distances of the crop fields, the required walking time and the overall area spanned by the most distant fields are documented.

- The cereal share of the houses, the required number of cattle for dung production, and the workload of the houses are documented as well.

Landscape development showing the localization of fields, the opening of the forest areas and the development of fallow areas are given as a map, which is updated annually.

### Initialization

The initial state of the model at the time  $t=0$  is a hypothetical model environment without previous human influence consisting of 200x200 cells of 25x25 meters. The cells are described by various variables. The variable "psoiltype" is provided by a GIS- raster dataset (after LGRB 2013, modified). The soil data has been simplified and adapted to better resemble conditions before the onset of widespread human influence using simple rules. All sub-varieties of a soil type have been treated as being identical (e.g. "Anmoorgley", Quellgley, Auengley have are all treated as "Gley"); Colluvia have been assigned the value of the dominant neighboring value of "Gley" or "Luvisol", as they were only formed through more intense human influence than in the period in question; the same procedure has been applied to areas with the value "no data". The result is a much generalized, but still valid soil map that roughly retrodicts conditions of the mid-Holocene without strong human influence, with soiltypes that can be "Luvisol", "Gleysol", "Peat bog" and "Water". The variable „pfertility“ is initially dependent on the soil type and has the relative values of 1 for "Luvisol", 0,75 for "Gleysol" and 0,4 for "Peat Bog". "Psoiltype" defines also the ecosystem of the cell: "Mixed Beech Forest" on "Luvisol", "Alder-Ash-Forest" on "Gleysol", and "Alder Carr" on Peat Bog". This very generalized allocation is based upon information given by Rösch et al. (2014, p. 124), Kerig and Lechterbeck (2004, p.24) and Lang (1990). The forest patches of "Beech Forest" and Alder-Ash-Forest" are grouped to stands consisting of 1-16 cells, equaling 0,06 - 1 ha, sharing the same forest development phase (rejuvenation-, initial-, optimal-, terminal-, and decay phase). This roughly reflects conditions for natural forest dynamics as described e.g. in Emborg et al. (2000) or in Leibundgut (1982, 1993). The area covered by the forest development phases is determined by the ratio of 8/8/28/36/20 as described in Mayer and Neumann (1981). With an assumed duration of one complete cycle of forest development from rejuvenation to decay phase lasting 500 years, this translates into a duration of the phases of 40, 40, 140, 180 and 100 years in this simulation. For Alder Carr, no such dynamics is assumed. Another cell variable is "ptravelcost", describing the relative travel costs from the settlement site. These are taken from an externally calculated GIS raster dataset (©www.lgl-bw.de). The houses are located on patch 103/97, which is chosen because it lies in the middle of the landscape and the location resembles true site preferences, as it is located on a small peninsula facing southward. The houses' initial state variables are identical, i.e. every house has six inhabitants, 2 full and two half workforces with a total workforce of 24 hours daily, and a standardized calorie requirement equaling  $6 \times 2000 \times 365 = 438000$  kcal.

### Input data

No external datasets are used which represent variable environmental factors, such as climate data. The variability of annual weather is not simulated in detail, instead it is included in the formula for calculating the annual crop yields.

### Sub models

1) Model parameters have to be chosen before the start of the simulation. The number of houses may be 1-100. Field sizes may range from 0.1 to 2 ha. The crop husbandry system can have values of "plough cultivation", "intensive garden cultivation", "Shifting Cultivation, long fallow" and "Shifting Cultivation, short fallow". The systems are defined following established hypotheses, which are described e.g. in Ehrmann et al (2009, 2014), Jacomet et al. (2016) and Bogaard (2004). The most im-

portant properties of the methods are given in table 1. In “plough cultivation” and “intensive garden cultivation”, the cultivation may be chosen with no manure allocation or with 10 t animal manure/ha/a.

Properties of the four discussed crop husbandry methods

Husbandry method	Properties
intensive garden cultivation (igc)	Intensive method, field preparation by hoeing, single grain seeding, permanent use of the fields, manuring optional; mean crop yield 1900 kg/Ha with manure, weather – induced standard variation 27%, separate fields of the individual houses.
plough cultivation (pc)	Extensive method, field preparation by ploughing, broadcast seeding, permanent use of the fields, manuring optional; mean crop yield 880 kg/Ha without manure, weather – induced standard variation 30%, crop fields are without limiting forest areas in between them.
Shifting Cultivation, long fallow (scl)	Intensive and land-demanding method, annual shifting of the fields, crop cultivation on areas that are clear-cut and burned, cycle length 15 a; mean crop yield 2700 kg/Ha, weather – induced standard variation of 22%, fields dispersed.
Shifting Cultivation, short fallow (scs)	Intensive and land-demanding method, annual shifting of the fields, crop cultivation on areas that are clear-cut and burned, cycle length 8 a; mean crop yield 2240 kg/Ha, weather – induced standard variation of 22%, fields dispersed.

2) The influence of the annual weather on crop yields is stochastically determined. This is done using the built-on function “random-normal” in Netlogo, that allows to give a mean and a standard deviation and will return a normal distribution of the values accordingly.

```
To-report weather-variance ifelse crop_husbandry_system = „Shifting Cultivation, long fallow“
or crop_husbandry_system = „Shifting Cultivation, short fallow“ [report random-normal 1 0.22]
[ifelse crop_husbandry_system = „intensive garden cultivation“ [report random-normal 1 0.25]
[report random-normal 1 0.3]] end
```

3) The houses check, whether a new field has to be opened, and eventually do so. The corresponding rules differ for the four methods. With “igc”, new fields will be opened, if the number of houses is less than the number of fields (which is the case only in year 1). Then, the cell with the minimal walking cost with “Soiltype = Luvisol” not in use by any other houses and having a certain distance to other fields is chosen. This cell and the number of cells that are needed accordingly to meet the field size as chosen by the parameter “Hectare” are then defined as fields of the respective house. For “pc” the process is identical, with the single difference that no minimal distance between fields is kept. For “scl” and “scs”, the criteria are as follows: minimal walking cost, “Soiltype Luvisol or Gleysol”, forest development phase in the initial-, rejuvenation-, or decay phase, period since last field use > minimal fallow period as described for the methods (8 resp. 15 years)

igc/pc:

```
to choose-and-open-igc(pc) if count patches with [pfieldcenter? = true] < (count HEs)
[ask Hes [let owner self let x (5 * sqrt Hektar)let my-field min-one-of patches with
[pfield? = false and psoiltype = 1 and count patches in-radius 3 with [psoiltype = 1] >
20 and count Hes in-radius x = 0 ] [ptravelcost]move-to my-field ask patch-here [set
pfieldcenter? true set pfield? true set powner owner]let belonging_igcfield min-n-of
(Hektar * 16) (patches with [psoiltype = 1 and pfield? = false]) [distance myself]ask
n-of (Hektar * 16) belonging_igcfield[set powner owner set pfield? true ]]]end
```

sc:

```
to choose-and-open-sc ask HEs [let owner self let this-years-area min-one-of (patches
with[not any? HEs-here and psoiltype = 1 or psoiltype = 2 and (pstandage < 80 or
pstandage > 400) and pfallow > Brachdauer]) [ptravelcost] move-to this-years-area ask
patch-here [set pfallow 0 set pstandage 0 set psec_succession? True set pfield? True
sprout-burntfields 1 [set shape "fire" set size 2 set bowner owner]]let belonging-
field min-n-of (Hektar * 16 * 4) (patches with [psoiltype = 1 or psoiltype = 2 and not
any? HEs-here and (pstandage != 0 and pstandage < 80 or pstandage > 400) and count ce-
reals-here = 0 and pfallow > Brachdauer]) [distance myself] ask n-of (Hektar * 16 * 4)
belonging-field [set pfallow 0 set pstandage 0 set psec_succession? True set pfield?
True sprout-burntfields 1 [set shape "fire" set size 2 set bowner owner]]]end
```

4) On the current crop fields, crops are growing. Yields are determined by multiplication of the values that are determined in 1) integrating mean and annual weather variability with the value for the relative soil fertility on the cell. This is dependent of the soil type and the duration of the field use (see below). The calculation is basically the same for all four methods, except the difference that with "scl" and scs", total yields will be divided by four as only one fourth of a given areas can actually be burnt with the wood growing on that area (cf. Ehrmann et al. 2009).

igc/pc:

```
to grow-crops-igc ask patches with [pfield? = true] [let number powner set pfallow 0
set pfieldage pfieldage + 1 sprout-cereals 1 [set shape "dot" set size 2 set c_owner
number set yield (avCrop*weather * [pfertility] of patch-here) ]]end
```

sc:

```
to grow-crops-sc ask HEs [let number self ask patches with [any? burntfields-here with
[bowner = number]][set pfallow 0 set pfieldage pfieldage + 1 ask burntfields
[ht]sprout-cereals 1 [set shape "scfield" set size 1 set c_owner number set yield
(avCrop*weather * 0.25 * [pfertility] of patch-here)]] end
```

5) The houses harvest their crop fields. Total yield equals the sum of all cells with field use that belong to the houses.

```
to harvest ask hes [set hecropyield round (sum [yield] of cereals with [c_owner = my-
self]) ] end
```



6) The Beech – and Alder-Ash-forest stands age by on year. When the age of 500 is reached, the cycle begins with 1 anew.

```
to forest-dynamics ask patches with [psoiltype != 4 and psoiltype != 3] [ifelse
pstandage < 500 [set pstandage pstandage + 1][set pstandage 1]]end
```

7) Cells that have been used for Shifting Cultivation in the preceding year are left to fallow for 8 resp. 15 years. Secondary forest growth will take place. This vegetation ages by one year. If due to crop cultivation, soil fertility is below its initial value, the relative value of 0.01 is added to its fertility value. This increment is chosen arbitrarily. The color of these cells is set darker with increasing age in order to graphically display the difference between young and old fallows. When an arbitrary age of 50 years of the fallow is reached, it is treated as being primary vegetation again.

```
to succession ask patches with [psec_succession? = true] [ifelse pfallow < 50 [set
pcolor scale-color brown pfallow 30 0 set pfallow pfallow + 1] [set psec_succession?
false set pstandage 50 set pfallow 51 recolor-patch ]] ask cereals [ask patch-here [set
pcolor white] die] ask patches with [psoiltype = 1 and psec_succession? = true and
pfertility < ofertility] [set pfertility pfertility + 0.01]end
```

8) The soil fertility of the cells that have been used for crop cultivation in the current year is reduced by a certain amount. This value is determined in Baum et al. (2016, im Druck) alying an agroecosystem model (Nendel et al. 2011). The decrease of soil fertility follows a logarithmic function:

$$y = -0,151\ln(x) + 1,5226 \text{ (manuring with 10 t/ha/a) resp.}$$

$$y = -0,211\ln(x) + 1,0934 \text{ (no manuring),}$$

where x indicates the duration of field use on the cell. In “sc”, no depletion of soil fertility is assumed due to the shortness of cultivation.

```
to nutrient-depletion if crop_husbandry_system = „intensive garden cultivation“or
crop_husbandry_system = plough cultivation [ifelse Dung = "Ohne" [ask patches with
[pfieldage > 2] [set pfertility ((-21.75 * ln pfieldage) + 108.54) / 100]] [ask patches
with [pfieldage > 2] [set pfertility ((-10.07 * ln pfieldage) + 101.51) / 100]] end
```

9) Model outputs are documented and plotted:

- The variable „Hecropyield“ of a random house is plotted against time.
- The consumable amount of cereals of the houses is determined by reducing the total yield by 100 kg that are needed for the next year’s cultivation and an arbitrary loss of 10% and plotted against time.
- If manuring if the fields is set, the minimal number of cattle to produce the amount of manure is calculated. This is done by dividing the chosen field size by 0,15, as one head of cattle produces 500 kg of dung a year, which can be blended with litter to 1500 kg (Bogaard 2012; Ebersbach 2002, S.152). Given an assumed intensity of manure alication of 10 T/ha, this means that for manuring 0,15 ha one head of cattle is adequate.

- The maximal distances, the total area spanned by the most distant fields, and the walking time (given an assumed walking speed of 5 km/h) are calculated and plotted.
- The average daily working hours are given for each month as a function of cattle numbers, field sizes, and the chosen husbandry system. The data used are given in tables 2,3 and 4.

Tab.9.2: Assumptions for the timing of crop husbandry related activities assuming igc or pc as used in WELASSIMO\_crops. \*) alies only if manuring is set.

Month	activities
January	Clearing new fields (only year 0)
February	Clearing new fields (only year 0)
March	Initial soil preparation (only year 0)
April	Initial soil preparation (only year 0); weeding
May	Initial soil preparation (only year 0); weeding
June	Initial soil preparation (only year 0); weeding
July	Crop harvesting; pollarding for winter fodder of cattle
August	Preparing the seedbed (plough/hoe); pollarding for winter fodder of cattle
September	Preparing the seedbed; sowing (broadcast/single grain)
October	Building/reparation of fences; sowing (broadcast/single grain)
November	Building/reparation of fences; sowing (broadcast/single grain)
December	Clearing new fields (only year 0)

Tab.9.3: Assumptions for the timing of crop husbandry related activities assuming scl or scs as used in WELASSIMO\_crops.

Month	activities
January	Slashing new field areas
February	Slashing new field areas
March	Preparing the wood for burning
April	Preparing the wood for burning; weeding
May	Preparing the wood for burning; weeding
June	Preparing the wood for burning; weeding
July	Crop harvesting
August	Burning procedure and preparation of the seedbed
September	Sowing (single grain)
October	Building/reparation of fences; sowing (single grain)
November	Building/reparation of fences; sowing (single grain)
December	Slashing new field areas

Tab. 9.4: Assumed working capacity for activities related to crop cultivation, as used in WELASSIMO\_crops\*) given is time for ploughing once in the left column; in the right column the value is threefold, as crop fields have to be ploughed three times. Data from: 1) Kerig (2007) 2) Ehrmann et al. (2009) 3) Jepsen et al. (2006) 4) Own assumptions. Lm = linear meters; y = number of cattle per house

Activity	Assumed working capacity	Duration (days per ha)
Traffic to the sites	12 min / km <sup>4)</sup>	
Clearing forest (old growth) (igc, igc )	16 m <sup>2</sup> / Day <sup>2)</sup>	625
Clearing forest (old growth) (scs,scl)	32 m <sup>2</sup> / Day <sup>2)</sup>	313
Clearing sec.growth 15a (scs,scl)	50 m <sup>2</sup> / Day <sup>2)</sup>	200
Clearing sec.growth 8 a (scs,scl)	75 m <sup>2</sup> / Day <sup>4)</sup>	133
Preparing the wood for burning	38 m <sup>2</sup> /Day <sup>2)</sup>	260
Initial soil preparation ( igc )	16 m <sup>2</sup> / Day <sup>2)</sup>	620
Initial soil preparation (pc)	8 m <sup>2</sup> / Day <sup>4)</sup>	1240
Burning procedure (scs,scl)	100 m <sup>2</sup> /Day <sup>2)</sup>	100
Preparing the seedbed ( pc )	1800m <sup>2</sup> / Day <sup>1)*)</sup>	21*)
Preparing the seedbed ( igc )	350 m <sup>2</sup> / Day <sup>1)</sup>	29
Seeding broadcast ( igc )	1000 m <sup>2</sup> / Day <sup>2)</sup>	10
Seeding single grain (igc ,scs, scl)	71 m <sup>2</sup> / Day <sup>2)</sup>	142
Fence construction	6,5 lm /Day <sup>3)</sup>	62
Fence reparation (igc , igc)	65 lm /Day <sup>4)</sup>	6
weeding (igc /pc)	200 m <sup>2</sup> /Day <sup>2)</sup>	50
weeding (scs,scl)	1000 m <sup>2</sup> /Day <sup>2)</sup>	10
Crop harvesting	300 m <sup>2</sup> /Day <sup>1)</sup>	33
Daily care for cattle	(1 + 0,2*y) h / Day <sup>4)</sup>	-
Pollarding of winter fodder	-	5 per cattle <sup>1)</sup>

# Curriculum vitae

Dr. Tilman Baum  
geboren am 20.02.1980

Oberlinden 14  
D-79098 Freiburg  
tilman.baum@gmx.net

- 2001-2003: Ausbildung zum Zimmermann
- 2003-2008: Studium der Geoökologie an der Eberhard-Karl-Universität Tübingen
- 2008: Diplom in Geoökologie, Vertiefungsrichtung Ökosystemanalyse
- 2008-2017: Freiberufliche Tätigkeit als wissenschaftlicher Forschungstaucher
- 2012-2016: Promotion in Ur- und Frühgeschichte an der Universität Basel
- 2016-2019: Auswertungsprojekt "Zürich Pressehaus/ KanSan" (mit Niels Bleicher und Beatrice Ruckstuhl, Unterwasserarchäologie und Labor für Dendrochronologie, Amt für Städtebau, Stadt Zürich)
- 2019: Anstellung als Umweltbaubegleiter bei Fa. Kunz Galaplan, Freiburg i. Brsg.