

PIK Report

No. 73

DER EINFLUß DER LANDNUTZUNG AUF
VERDUNSTUNG UND GRUNDWASSERNEUBILDUNG

MODELLIERUNGEN UND FOLGERUNGEN
FÜR DAS EINZUGSGEBIET DES GLAN

Doris Reichert



POTSDAM INSTITUTE
FOR
CLIMATE IMPACT RESEARCH (PIK)

Veröffentlicht als Diplomarbeit in der Landschaftsplanung 2000 am
Institut für Landwirtschaftsentwicklung der Technischen Universität Berlin

Autor:

Dipl. Ing. Doris Reichert
Ludwig-Maximilians-Universität München, Institut für Geographie
Fakultät für Geowissenschaften, Luisenstr. 37
D-80333 München
Tel.: +49-89-2180-6692
Fax: +49-89-2180-6675
E-mail: D.Reichert@iggf.geo.uni-muenchen.de

Ansprechpartner:

Dr. Lucas Menzel (Gutachter)
Abt. Globaler Wandel und Natürliche Systeme
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V.
PF 60 12 03, D-14412 Potsdam
Tel.: +49-331-288-2673
Fax: +49-331-288-2695
E-mail: Lucas.Menzel@pik-potsdam.de

Herausgeber:

Dr. F.-W. Gerstengarbe

Technische Ausführung:

U. Werner

POTSDAM-INSTITUT
FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG
Telegrafenberg
Postfach 60 12 03, 14412 Potsdam
GERMANY

Tel.: +49 (331) 288-2500
Fax: +49 (331) 288-2600
E-mail-Adresse: pik@pik-potsdam.de

POTSDAM, JULI 2001

Summary

Two methods of scenario development as well as modelling spatially distributed simulations have been applied to determine the impact of landuse on evapotranspiration and groundwater recharge. The objective of this approach is to assess the impact of urban and regional planning on the human and natural environment. The question was whether or not these simulation techniques may be used as a *Decision Support System*.

First, landuse scenarios were developed for a sample catchment, the river Glan in Germany. The scenarios are developed by taking into account the characteristics of the catchment area, current planning and political conditions as well as spatial trends in landuse distribution. The catchment of the river Glan is mainly used for agricultural purposes, however both the relief of the low mountain range and the soil properties adversely affect cultivation. Whilst migration poses a problem in the Northern part of the catchment, suburbanisation increases steadily in the surroundings of Kaiserslautern. Despite of economical and political stimulus for intensive landuse within Europe, recent landuse trends expose a shift from natural grassland to settlement or forest in general. Moreover, a significant conversion from agriculture towards grassland can be noticed within the Glan valley.

Taking all that into account five scenarios for the landuse categories settlement, agriculture and forest were developed. In addition to these realistic scenarios, two extreme-scenarios for the landuse categories settlement and agriculture were included to emphasise hydrological effects. Under the assumption that previous trends and political conditions remain constant, the scenarios indicated an enlargement of the landuse categories settlement and forest as well as a reduction of agricultural land.

The spatial distribution of landuse changes were simulated with the *Landuse change DEvelopment MOdel* (LADEMO). The model is capable to estimate the impact of the landuse on evapotranspiration and groundwater recharge with a high degree of accuracy. It provides a synthesis between the overall estimation of parameters, the current landuse and the user-based objectives. Modelling results indicate a significant spatial development of the landuse distribution within the catchment. Particularly, in the flood plain and on the slopes agricultural use has altered to grassland or forest, whereas settlements have enlarged along development axes, such as main roads. According to that the simulation with LADEMO provides decision-makers with information required for fundamental decision-making processes.

The spatially differentiated calculation of evapotranspiration and groundwater recharge was accomplished with the transpiration model TRAIN. The basic parameterisation of each

landuse class is significant for the interpretation of results. The parameterisation in TRAIN consists of both temporally variable and altitude related parameter-sets.

Based upon the results of the modelling, it was possible to draw conclusions on the hydrological impact of every landuse class as well as the impact of scenarios. Furthermore, this can be used as basis for various spatial planning projects. Different properties of each landuse class have revealed a characteristic distribution of evapotranspiration and groundwater recharge both in the annual mean and throughout the course of the year. Evapotranspiration of forests was, for example, relatively high compared to that of settlements. In contrast, groundwater recharge of forests was lower than that of settlements. The reason for the latter phenomenon is that currently TRAIN does not account the rates of sealing and the effects of canalisation which both increase runoff.

The results of modelled landuse scenarios reveal a limited impact on the water balance of the entire catchment. The mean annual difference between the two extremes (extreme-agriculture- and extreme-settlement-scenario) was only 16 mm for evapotranspiration¹ and 5 mm for groundwater recharge². This is a deviation of less than 5 % from the reference condition and is, therefore, within the permitted error range of modelling. The observed differences refer to particular landuse modelling results. This can be seen as a trend, and thus, may be applied for further conclusions. For example, the impact of the *extreme-agriculture-scenario* on the local energy budget was calculated. According to this the increased evapotranspiration would require an additional energy amount of 1.17 W / m² which, in consideration of diverse winds, would lead to a local cooling.

The hydrological investigation provides a base for the analysis of landuse trends within the catchment. The entire analysis might be applied to other regions, and can moreover, provide, some new methods in local and regional planning. Thus spatially differentiated modelling allows planning institutions and authorities to implement particular management solutions at critical locations. The value of scenarios is being exposed whenever different (planning) alternatives result in different effects, and scenarios are then employed as a so-called *Decision Support System*. However, the application of models involves time-consuming data acquisition, adaptation and processing of large datasets. Thus, limitations of human and financial resources have to be assessed properly prior to any further investigation

In summary, the simulations in this study have demonstrated that these methods are sensible and suitable for regional planning. Especially the combination of scenarios and simulations should be used for achieving decisions.

¹ Reference condition (evapotranspiration): 517 mm

² Reference condition (groundwater recharge): 142 mm

Vorwort

Ziel dieser Arbeit war, den *Einfluß der Landnutzung auf Verdunstung und Grundwasserneubildung* festzustellen. Erreicht werden sollte dies zum einen durch die Methodik der Szenarienentwicklung sowie zum anderen durch räumlich differenzierte Simulationsmodellierungen. Darüber hinaus sollte die Anwendbarkeit dieser Methoden in der Raum- und Landschaftsplanung überprüft werden. Die *Modellierungen und Folgerungen* erfolgten daher exemplarisch für das Einzugsgebiet des Glan in Rheinland-Pfalz.

Der vorliegende Bericht ist im Rahmen einer Diplomarbeit am PIK entstanden, die im Dezember 2000 fertiggestellt wurde. Sowohl für die fachliche Betreuung von Dr. Lucas Menzel als auch für die Möglichkeit einer Veröffentlichung im Rahmen des PIK-Reports möchte ich mich an dieser Stelle recht herzlich bedanken. Ebenso bei allen anderen Mitarbeitern des PIK, die mir während dieser Arbeit immer für Rat und Tat zur Seite standen. Die fachliche Betreuung an der Technischen Universität Berlin übernahm Prof. Heiko Diestel, dem ebenfalls mein Dank gebührt. Nicht zu vergessen sind alle meine Korrekturleser und seelischen Stützen in dieser Zeit.

Die erforderlichen Grundlagendaten, sowie das *Land use change DEvelopment MOdel* (LADEMO) und das Verdunstungsmodell *TRanspiration And INterzeption* (TRAIN) wurden vom PIK zur Verfügung gestellt. Dank der Planungsgemeinschaft Westpfalz, der Planungs- und Ingenieurgesellschaft GfL, des Ministeriums für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, des Statistischen Landesamtes Rheinland-Pfalz, des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, des Kulturamtes Kaiserslautern und der Struktur- und Genehmigungsdirektionen Süd und Nord konnte auf weitere wesentliche Grundlagendaten zurückgegriffen werden. Ohne diese kollegiale Unterstützung wäre eine Arbeit in diesem Maße nicht möglich gewesen.

Abschließend möchte ich noch bemerken, daß in dieser Arbeit unter dem Begriff *Verdunstung* alle Komponenten der Evapotranspiration, also *Evaporation*, *Transpiration* und *Interzeption* verstanden werden. Unter dem Begriff *Grundwasserneubildung* wird die *potentielle Grundwasserneubildung*, also die Tiefenversickerung gefaßt. Die Begriffe *Grundwasserneubildung*, *Tiefensickerung* und *(Ver-)Sickerung* werden als Synonyme verwendet. Sie ist damit mit der Sickermenge an der Unterseite des effektiven Wurzelraumes identisch.

Doris Reichert, im Mai 2001

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IV
TABELLENVERZEICHNIS	VII
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VIII
ALLGEMEINE ABKÜRZUNGEN	VIII
HYDROLOGISCHE UND MODELLABKÜRZUNGEN	VIII
PLANERISCHE ABKÜRZUNGEN	IX
EINLEITUNG	1
1 GEBIETSBESCHREIBUNG	5
1.1 WAHL DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES	5
1.2 DATENGRUNDLAGEN	6
1.3 VERWALTUNGSSTRUKTUREN	7
1.4 NATURRÄUMLICHE GRUNDLAGEN	8
1.4.1 GEOMORPHOLOGIE / GEOLOGIE	8
1.4.2 BODEN	11
1.4.3 KLIMA	14
1.4.4 GRUNDWASSER	20
1.4.5 GEWÄSSERNETZ	21
1.4.6 VEGETATION	25
1.4.7 LANDNUTZUNG	25
1.5 SOZIO-ÖKONOMISCHE GRUNDLAGEN	32
1.5.1 WIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG	32
1.5.2 BEVÖLKERUNG	33
1.6 ZUSAMMENFASSUNG DER GEBIETSBESCHREIBUNG	34
2 PLANERISCHE RAHMENBEDINGUNGEN	36
2.1 POLITISCHE VORGABEN DURCH DIE EUROPÄISCHE UNION	36
2.1.1 EU-AGRARPOLITIK	36
2.1.2 EU-POLITIK ZUR ENTWICKLUNG DES LÄNDLICHEN RAUMES	38
2.1.3 EU-WASSERWIRTSCHAFTSPOLITIK	38
2.2 VORBEMERKUNGEN ZUR PLANUNG IN RHEINLAND-PFALZ	39
2.2.1 DAS PLANUNGSSYSTEM IN RHEINLAND-PFALZ	39
2.2.2 ÜBERSICHT ÜBER DIE BERÜCKSICHTIGTEN PLANUNGEN	40

2.3	RAUM- UND LANDSCHAFTSPLANUNG IN RHEINLAND-PFALZ	41
2.3.1	DAS LANDESENTWICKLUNGSPROGRAMM (LEP)	41
2.3.2	REGIONALER RAUMORDNUNGSPLAN WESTPFALZ 1989	43
2.4	FACHPLANUNGEN / SONSTIGES	51
2.4.1	AGRARSTRUKTURELLE ENTWICKLUNGSPLANUNG (AEP)	51
2.4.2	PLANUNG VERNETZTER BIOTOPSYSTEME	53
2.4.3	RAUMORDNUNGSBERICHT 1998	54
2.5	ZUSAMMENFASSUNG DER BESTEHENDEN PLANUNGEN	56
2.5.1	VORGABEN DURCH DIE EU-POLITIK	56
2.5.2	PLANUNGEN FÜR DAS GESAMTE EINZUGSGEBIET	57
2.5.3	PLANUNGEN EINZELNER REGIONEN	58
3	FÖRDERPROGRAMME	60
3.1	FÖRDERUNG DURCH DIE EUROPÄISCHE UNION	60
3.1.1	STRUKTURFONDS DER EU	61
3.1.2	GEMEINSAME AGRARPOLITIK IM RAHMEN DER AGENDA 2000	66
3.2	FÖRDERPROGRAMME IN RHEINLAND-PFALZ	67
3.2.1	REGIONALFÖRDERUNG	68
3.2.2	FÖRDERUNG IM RAHMEN WASSERWIRTSCHAFTLICHER PLANUNGEN	69
3.2.3	LAND- UND FORSTWIRTSCHAFTLICHE FÖRDERUNG	73
3.3	ZUSAMMENFASSUNG DER FÖRDERUNGSMÖGLICHKEITEN	80
4	ENTWICKLUNG DER LANDNUTZUNG	83
4.1	ERKENNTNISSE ZUR LANDNUTZUNGSENTWICKLUNG	83
4.1.1	ALLGEMEINES	83
4.1.2	VERSTÄDTERUNG	85
4.1.3	AGRARISCHER STRUKTURWANDEL	86
4.1.4	FORSTWIRTSCHAFTLICHE ENTWICKLUNG	89
4.1.5	ZUSAMMENFASSUNG	90
4.2	HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER LANDNUTZUNG IM EINZUGSGEBIET DES GLAN	91
4.2.1	VORBEMERKUNGEN	91
4.2.2	ENTWICKLUNG DER LANDNUTZUNG	92
4.2.3	ZUSAMMENFASSUNG	98
4.3	STUDIEN ZUR ENTWICKLUNG DER LANDNUTZUNG	98
4.3.1	SZENARIENSTUDIE DER AGRICULTURAL UNIVERSITY WAGENINGEN	98
4.3.2	SZENARIENSTUDIE DES NETHERLANDS SCIENTIFIC COUNCIL FOR GOVERNMENT POLICY (WRR)	99
4.3.3	FAO-STUDIEN: <i>AGRICULTURE: TOWARD 2010</i> UND <i>EUROPEAN TIMBER TRENDS AND PROSPECTS TO THE YEAR 2000 AND BEYOND</i>	101
4.3.4	RHINE BASIN STUDY	101
4.3.5	ZUSAMMENFASSUNG DER STUDIEN	107

5	LANDNUTZUNGSSZENARIEN	108
5.1	ALLGEMEINES ZU SZENARIEN	108
5.1.1	DER BEGRIFF DES SZENARIOS	108
5.1.2	GRUNDLAGE EINES SZENARIOS	108
5.1.3	SZENARIOUNSICHERHEIT	109
5.2	ERARBEITUNG DER LANDNUTZUNGSSZENARIEN	109
5.2.1	VORBEMERKUNGEN	110
5.2.2	VORGEHENSWEISE	110
5.2.3	SZENARIENZIELE	112
5.3	ERGEBNISSE DER LANDNUTZUNGSSZENARIEN	116
5.3.1	REFERENZSZENARIO	117
5.3.2	VERSTÄDTERUNGSSZENARIEN	117
5.3.3	ACKERSZENARIEN	117
5.3.4	WALDSZENARIO	118
5.4	ZUSAMMENFASSUNG DER LANDNUTZUNGSSZENARIEN	118
6	MODELLIERUNGEN	119
6.1	ALLGEMEINES ZU MODELLEN	119
6.2	MODELLIERUNG DER LANDNUTZUNGSSZENARIEN MIT LADEMO	122
6.2.1	WAS IST LADEMO?	122
6.2.2	GRUNDIDEE	122
6.2.3	FUNKTIONSWEISE	127
6.2.4	VORGEHENSWEISE	129
6.2.5	MODELLIERUNG DER LANDNUTZUNGSSZENARIEN IM EINZUGSGEBIET DES GLAN	131
6.2.6	BEWERTUNG UND FAZIT	139
6.3	MODELLIERUNG VON GRUNDWASSERNEUBILDUNG UND VERDUNSTUNG MIT TRAIN	143
6.3.1	WAS IST TRAIN?	144
6.3.2	EINGANGSDATEN	145
6.3.3	FUNKTIONSWEISE	148
6.3.4	MODELLIERUNG	150
6.3.5	VERIFIZIERUNG	150
6.3.6	BEWERTUNG UND FAZIT	157
7	ERGEBNISSE	159
7.1	ERGEBNISSE DER LANDNUTZUNGSSZENARIEN	159
7.2	ERGEBNISSE DER MODELLIERUNG MIT LADEMO	161
7.3	ERGEBNISSE DER MODELLIERUNG MIT TRAIN	162
7.3.1	IST-ZUSTAND	162
7.3.2	SZENARIEN	172
7.4	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	175

8	FAZIT	177
8.1	FOLGERUNGEN	177
8.1.1	AUSSAGEKRAFT VON MODELLIERUNGEN	177
8.1.2	PLANUNGSZIELE	178
8.1.3	UMSETZUNG	179
8.2	BEWERTUNG DER METHODIK FÜR DIE LANDSCHAFTSPLANUNG	181
8.2.1	SZENARIENENTWICKLUNG UND -VERWENDUNG	181
8.2.2	MODELLIERUNG	182
8.3	AUSBLICK	183
9	ZUSAMMENFASSUNG	185
10	QUELLEN	187
10.1	LITERATUR	187
10.2	INTERNETQUELLEN	194
10.3	DATENQUELLEN UND KARTENGRUNDLAGEN	195
10.4	MÜNDLICHE BESPRECHUNGEN	195
ANHANG		197

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1-1: ÜBERSICHT ÜBER DIE LAGE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES IN RHEINLAND-PFALZ (VERÄNDERT NACH FISCHER 1989, 3)	5
ABBILDUNG 1-2: ÜBERSICHT ÜBER DAS EINZUGSGEBIET DES GLAN	8
ABBILDUNG 1-3: DIGITALES HÖHENMODELL MIT FLUßNETZ DES GLAN (DATENGRUNDLAGE: GESELLSCHAFT FÜR GEOGRAPHISCHE DATENVERARBEITUNG IN RHEINLAND-PFALZ)	9
ABBILDUNG 1-4: PROZENTUALE HÖHENVERTEILUNGEN ÜBER NN IM EINZUGSGEBIET DES GLAN (DATENGRUNDLAGE: DHM)	10
ABBILDUNG 1-5: PROZENTUALE HANGNEIGUNG IM EINZUGSGEBIET DES GLAN (DATENGRUNDLAGE: DHM)	10
ABBILDUNG 1-6: PROZENTUALE ANTEILE DER EXPOSITION IM EINZUGSGEBIET DES GLAN (DATENGRUNDLAGE: DHM)	10
ABBILDUNG 1-7: BÖDEN IM EINZUGSGEBIET DES GLAN	14
ABBILDUNG 1-8: LAGE DER KLIMA- UND LYSIMETERSTATIONEN IM EINZUGSGEBIET DES GLAN	15
ABBILDUNG 1-9: MITTLERE MONATSMINIMA, -MITTEL UND -MAXIMA DER TEMPERATUR IN HOMBURG (1970-1997)	17
ABBILDUNG 1-10: MITTLERE MONATSMINIMA, -MITTEL UND -MAXIMA DER TEMPERATUR IN WOLFSTEIN (1981-1997)	17
ABBILDUNG 1-11: KLIMADIAGRAMM KAISERSLAUTERN: MITTLERE TEMPERATURVERLÄUFE SOWIE PROZENTUALE ANTEILE DER MONATLICHEN NIEDERSCHLAGSSUMMEN (1961-1994)	17
ABBILDUNG 1-12: KLIMADIAGRAMM SANKT WENDEL-LEITERSHEIM: MITTLERE TEMPERATURVERLÄUFE SOWIE PROZENTUALE ANTEILE DER MONATLICHEN NIEDERSCHLAGSSUMMEN (1978-1997)	17
ABBILDUNG 1-13: GEWÄSSERNETZ (VERÄNDERT NACH FISCHER 1989, 87)	22
ABBILDUNG 1-14: ABFLUßREGIME PEGEL ODENBACH UND PEGEL ESCHENAU (DATENGRUNDLAGE: LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ)	24
ABBILDUNG 1-15: PROZENTUALE LANDNUTZUNGSVERTEILUNG DER EINZELNEN LANDKREISE (DATENGRUNDLAGE: CORINE-LANDNUTZUNGSKARTIERUNG)	28
ABBILDUNG 1-16: DIE AGGREGIERTE LANDNUTZUNG IM EINZUGSGEBIET DES GLAN (DATENGRUNDLAGE: CORINE-LANDNUTZUNGSKARTIERUNG)	29
ABBILDUNG 4-1: PARZELLIERUNG DER AGRARLANDSCHAFT VOR UND NACH EINER FLURBEREINIGUNG (QUELLE: NENTWIG 1995, 520; VERÄNDERT NACH DIERCKS 1983)	87
ABBILDUNG 4-2: ENTWICKLUNG VON LANDNUTZUNGSFORMEN (EIGENE DARSTELLUNG)	90
ABBILDUNG 4-3: PROZENTUALE LANDNUTZUNGSENTWICKLUNG DER BEARBEITETEN LANDKREISE DES EINZUGSGEBIETES DES GLAN ZWISCHEN 1950 UND 2000 (DATEN: SLA)	92
ABBILDUNG 4-4: PROZENTUALE LANDNUTZUNGSENTWICKLUNG DES LANDKREISES KAISERSLAUTERN ZWISCHEN 1950 UND 2000 (DATEN: SLA)	92
ABBILDUNG 4-5: PROZENTUALE LANDNUTZUNGSENTWICKLUNG DES LANDKREISES KUSEL ZWISCHEN 1950 UND 2000 (DATEN: SLA)	92
ABBILDUNG 4-6: PROZENTUALE LANDNUTZUNGSENTWICKLUNG DER KREISFREIEN STADT KAISERSLAUTERN ZWISCHEN 1950 UND 2000 (DATEN: SLA)	92

ABBILDUNG 4-7: PROZENTUALE ENTWICKLUNG VON GRÜN- UND ACKERLAND (INNERHALB DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN NUTZFLÄCHE) IN DEN BEARBEITETEN LANDKREISEN ZWISCHEN 1960 UND 1995 (DATEN: SLA)	95
ABBILDUNG 6-1: GRUNDSCHRITTE DER SYSTEMANALYSE, ÜBERFÜHRUNG DES MODELLS IN DIE PRAXIS MIT DEN JEWEILS BETEILIGTEN (LESER 1991, 91)	120
ABBILDUNG 6-2: NACHBARSCHAFTSANALYSE	123
ABBILDUNG 6-3: BEISPIEL EINER BEWERTUNGSANALYSE (QUELLE: MENZEL 1999B, 6)	126
ABBILDUNG 6-4: UMWANDLUNG DER PIXEL BEI EINEM EXPANSIONSSZENARIO	128
ABBILDUNG 6-5: LADEMO-EINGABEFENSTER	131
ABBILDUNG 6-6: SCHEMA ZUM AUFBAU DES VERDUNSTUNGSMODELLS TRAIN MIT DEN WICHTIGSTEN MODELLKOMPONENTEN, EINGANGSDATEN UND VERKNÜPFUNGEN (MENZEL 2000, UNVERÖFFENTLICHT)	146
ABBILDUNG 6-7: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER FUNKTIONSWEISE DES BODENMODULS IN TRAIN (MENZEL 2000, UNVERÖFFENTLICHT)	149
ABBILDUNG 6-8: VERGLEICH DER GEMESSENEN UND DER MODELLIERTEN VERDUNSTUNG [MM] AN DER LYSIMETERSTATION WALDMOHR IN LANGJÄHRIGEN JAHRES- UND MONATSMITTELN	155
ABBILDUNG 6-9: VERGLEICH DER GEMESSENEN UND DER MODELLIERTEN VERSICKERUNG [MM] AN DER LYSIMETERSTATION WALDMOHR IN LANGJÄHRIGEN JAHRES- UND MONATSMITTELN	155
ABBILDUNG 6-10: VERGLEICH DER GEMESSENEN UND DER MODELLIERTEN VERDUNSTUNG [MM] AN DER LYSIMETERSTATION EICHELSCHIEDER HOF IN LANGJÄHRIGEN JAHRES- UND MONATSMITTELN	156
ABBILDUNG 6-11: VERGLEICH DER GEMESSENEN UND DER MODELLIERTEN VERSICKERUNG [MM] AN DER LYSIMETERSTATION EICHELSCHIEDER HOF IN LANGJÄHRIGEN JAHRES- UND MONATSMITTELN	156
ABBILDUNG 7-1: PROZENTUALE VERTEILUNG DER EINZELNEN LANDNUTZUNGSKLASSEN FÜR JEDES SZENARIO	159
ABBILDUNG 7-2: ERGEBNISKARTEN DER RÄUMLICHEN MODELLIERUNG DER LANDNUTZUNGS- SZENARIEN MIT LADEMO	160
ABBILDUNG 7-3: MITTLERE JAHRESVERDUNSTUNG UND -VERSICKERUNG DER EINZELNEN LANDNUTZUNGSKLASSEN IM EINZUGSGEBIET DES GLAN (1961-1990)	163
ABBILDUNG 7-4: MITTLERER JAHRESVERLAUF VON VERDUNSTUNG UND VERSICKERUNG IM EINZUGSGEBIET DES GLAN (1961-1990) A) FÜR ALLE LANDNUTZUNGEN B) FÜR SIEDLUNGSFLÄCHEN C) FÜR ACKERFLÄCHEN D) FÜR GRÜNLANDFLÄCHEN E) FÜR WALDFLÄCHEN F) FÜR FLÄCHEN DES NATÜRLICHEN GRÜNLANDS	168
ABBILDUNG 7-5: ERGEBNISKARTEN DER MODELLIERUNG MIT TRAIN FÜR DIE VERDUNSTUNG IM EINZUGSGEBIET DES GLAN (1961-1990)	171
ABBILDUNG 7-6: MITTLERE JAHRESVERDUNSTUNG UND -VERSICKERUNG FÜR DIE EINZELNEN LANDNUTZUNGSSZENARIEN IM EINZUGSGEBIET DES GLAN (1961-1990)	173
ABBILDUNG 7-7: MITTLERER JAHRESVERLAUF VON VERDUNSTUNG UND VERSICKERUNG IM EINZUGSGEBIET DES GLAN (1961-1990) BEIM STADT- SOWIE BEIM ACKER- EXTREMSZENARIO IM VERGLEICH ZUM REFERENZSZENARIO	175

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1-1: DATENGRUNDLAGEN	6
TABELLE 1-2: VERGLEICH DER LANDNUTZUNGSVERTEILUNG IN CORINE: BEARBEITETE LANDKREISE UND EINZUGSGEBIET DES GLAN	26
TABELLE 1-3: VERGLEICH DER LANDNUTZUNGSVERTEILUNG DER LANDKREISE: CORINE UND STATISTISCHES LANDESAMT RLP	27
TABELLE 2-1: BERÜCKSICHTIGTE PLANUNGSGRUNDLAGEN	41
TABELLE 3-1: RÄUMLICH BEDEUTSAME PROGRAMME UND GEMEINSCHAFTSINITIATIVEN DER STRUKTURFONDS DER EU VOR DER AGENDA 2000 (VGL. ISB 1999A, 15F)	63
TABELLE 3-2: GEFÖRDERTE MAßNAHMEN NACH DER AGENDA 2000 (VGL. EUROPÄISCHE KOMMISSION 1999B, 1-4)	66
TABELLE 3-3: MAßNAHMEN IM NAHEPROGRAMM (EIGENE ZUSAMMENSTELLUNG)	72
TABELLE 3-4: PROGRAMMTEILE DES FÖRDERPROGRAMMES UMWELTSCHONENDE LANDBEWIRTSCHAFTUNG (FUL) (VGL. ISB 1999A, 83)	76
TABELLE 3-5: ÜBERSICHT ÜBER DIE RAUMBEDEUTSAMEN WIRKUNGEN DER WICHTIGSTEN FÖRDERPROGRAMME IM EINZUGSGEBIET DES GLAN	80
TABELLE 4-1: RELEVANTE ERGEBNISSE VERSCHIEDENER STUDIEN VON LANDNUTZUNGSENTWICKLUNGEN	107
TABELLE 5-1: ÜBERSICHT ÜBER DIE LANDNUTZUNGSSZENARIEN (OHNE REFERENZSZENARIO)	118
TABELLE 6-1: BEWERTUNGSMATRIX IN LADEMO (VERÄNDERT NACH: MENZEL 1999B, 4)	125
TABELLE 6-2: AGGREGIERUNG IN LADEMO FÜR DAS EINZUGSGEBIET DES GLAN (VERÄNDERT NACH: MENZEL/BLONGEWICZ 2000, 11)	130
TABELLE 6-3: KLASSIFIZIERUNG DER HANGNEIGUNG FÜR DIE VERSTÄDTERUNGSSZENARIEN	134
TABELLE 6-4: KLASSIFIZIERUNG DER BODENTYPEN FÜR DIE VERSTÄDTERUNGSSZENARIEN	134
TABELLE 6-5: KLASSIFIZIERUNG DER ENTWICKLUNGSACHSEN FÜR DIE VERSTÄDTERUNGS- SZENARIEN	135
TABELLE 6-6: KLASSIFIZIERUNG DER HANGNEIGUNG FÜR DIE ACKERSZENARIEN	136
TABELLE 6-7: KLASSIFIZIERUNG DER BODENTYPEN FÜR DIE ACKERSZENARIEN	137
TABELLE 6-8: KLASSIFIZIERUNG DER ENTWICKLUNGSACHSEN FÜR DIE ACKERSZENARIEN	137
TABELLE 6-9: KLASSIFIZIERUNG DER EXPOSITION FÜR DIE ACKERSZENARIEN	138
TABELLE 6-10: KLASSIFIZIERUNG DER BODENTYPEN FÜR DAS WALDSZENARIO	139
TABELLE 6-11: VOR- UND NACHTEILE DER VERWENDUNG VON LADEMO BEI DER MODELLIERUNG IM EINZUGSGEBIET DES GLANS	142
TABELLE 6-12: MÖGLICHKEITEN UND ENTWICKLUNGSPOTENTIALE FÜR LADEMO	143
TABELLE 6-13: GEGENÜBERSTELLUNG DER GRUNDLEGENDEN CHARAKTERISTIKA DER LYSIMETERSTANDORTE UND DER AUSGEWÄHLTEN REFERENZPIXEL IN DER MODELLIERUNG MIT TRAIN	154
TABELLE 7-1: EINFLUß DER EINZELNEN LANDNUTZUNGEN AUF VERDUNSTUNG UND GRUNDWASSERNEUBILDUNG	176
TABELLE 8-1: BEISPIELE FÜR POLITISCHE UND PLANERISCHE INSTRUMENTARIEN ZUR UMSETZUNG DER PLANUNGSZIELE (EIGENE DARSTELLUNG)	180

Abkürzungsverzeichnis

Allgemeine Abkürzungen

d.h.	das heißt	sog.	sogenannte
ebd.	ebenda	u.	und
etc.	et cetera	u.a.	unter anderem
Hrsg.	Herausgeber	v.a.	vor allem
k.A.	keine Angabe	vgl.	vergleiche
Kap.	Kapitel	z.B.	zum Beispiel
o.J.	ohne Jahr	z.T.	zum Teil

Hydrologische und Modellabkürzungen

ArcView [®]	Softwareprodukt von ESRI [™]
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
DHM	Digitales Höhenmodell
DWD	Deutscher Wetterdienst
ESRI [®]	Environmental Systems Research Inc.
GIS	Geographisches Informationssystem
HHQ	Höchster Hochwasserabfluß
HQ	Hochwasserabfluß
LADEMO	LANduse change DEvelopment MOdel
LAI	Blattflächenindex (Leaf area index)
MHQ	Hochwasserabfluß
MNQ	Mittlerer Niedrigwasserabfluß
MQ	Mittlerer Abfluß
MQ _{mon} /MQ _{jahr}	Abflußregime
N ₂ O	Lachgas
NN	Normal Null (Meereshöhe)
NQ	Niedrigwasserabfluß
PIK	Potsdam Institut für Klimafolgenforschung
TRAIN	TRAnspiration + INterzeption Modell

Planerische Abkürzungen

AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Bundesländer
AEP	Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BRD	Bundesrepublik Deutschland
EAGFL	Europäischer Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft
EFRE	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
ESF	Europäischer Sozialfonds
FAO	Food and Agriculture Organisation of the United Nations
FIAF	Finanzinstrument zur Ausrichtung der Fischerei
FNP	Flächennutzungsplan
FUL	Förderprogramm Umweltschonende Landbewirtschaftung
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Gemeinschaft
GfL	Planungs- und Ingenieurgesellschaft GmbH
hpnV	heutige potentiell natürliche Vegetation
ISB	Investitions- und Strukturbank Rheinland-Pfalz
KS	Kulturamt Simmern
LEP	Landesentwicklungsprogramm
LfUG	Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht
LfW	Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz
LK	Landkreis
LPflG	Landespfleugesetz
MfLWU	Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Umweltschutz Rheinland-Pfalz
MfUF	Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz
MfWV	Ministerium für Wirtschaft und Verkehr Rheinland-Pfalz
MfWVLW	Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz
MIS	Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
PgW	Planungsgemeinschaft Westpfalz
RLP	Rheinland-Pfalz
RROP	Regionaler Raumordnungsplan
SafWA	Staatliches Amt für Wasser- und Abfallwirtschaft Koblenz
SLA	Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz
THD	Technische Hochschule Darmstadt
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung

Einleitung

Der Einfluß des Menschen auf die Verteilung der einzelnen Landnutzungen unter anderem durch Siedlungsausweitung sowie die Nutzung als Kulturlandschaft ist eindeutig belegbar. Im Rahmen der Raum- und Landschaftsplanung ist es das Ziel,

Natur und Landschaft ... im besiedelten und unbesiedelten Bereich so zu schützen, zu pflegen und zu entwickeln, daß

1. *die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts,*
2. *die Nutzungsfähigkeit der Naturgüter,*
3. *die Pflanzen- und Tierwelt sowie*
4. *die Vielfalt, Eigenart und Schönheit von Natur und Landschaft*

als Lebensgrundlagen des Menschen und als Voraussetzung für seine Erholung in Natur und Landschaft nachhaltig gesichert sind“ (BNatSchG §1,1).

Dabei liefert das Wasser die Grundlage für das Leben von Pflanzen und Tieren sowie für die Ausbildung der Erdoberfläche und die Bodenbildung (vgl. VAN EIMERN/HÄCKEL 1984, 40). Die Bestimmung der Quantität und der Qualität der Wasservorkommen stellen daher eine wesentliche Grundlage der Raum- und Landschaftsplanung dar. Im Rahmen dieser Arbeit soll der Einfluß der Landnutzung auf die vertikalen Wasserströme Grundwasserneubildung und Verdunstung festgestellt werden.

Wasser fällt als flüssiger oder fester Niederschlag zur Erde, wo er an Pflanzen und Gegenständen zurückgehalten wird, in den Boden eindringt oder abfließt. Zurückgehaltener Niederschlag wird entweder direkt wieder verdunstet (Interzeptionsverdunstung) oder erreicht als Stammabfluß oder abtropfender Niederschlag die Erdoberfläche.

Wasser, das den Erdboden erreicht, dringt je nach Oberfläche in den Boden ein (Infiltration). Ist die Niederschlagsintensität oder –menge höher als die Infiltration, kommt es je nach Relief zu Oberflächenabfluß. Bei Speicherung in kleineren Mulden oder Senken wirken klimatologische Parameter wie Strahlung, Temperatur, Sättigungsdefizit der Luft und Wind auf das Wasser in Form von Verdunstung ein. Liegt die Lufttemperatur unter 0 °C kann das Wasser über Schnee- und Eisbildung über einen längeren Zeitabschnitt gespeichert werden.

Nach Auffüllung der Bodenwasservorräte kommt es zum einen zu einer Bodenverdunstung (Evaporation) und zum anderen zu einer Aufnahme des Wassers durch die Vegetation, die es an ihrer Blattoberfläche verdunstet (Transpiration). Entstehende Wasserverluste im Boden können teilweise durch kapillar aufsteigendes Wasser ausgeglichen werden. Die unterschiedlichen Verdunstungsprozesse werden zusammengefaßt als *Evapotranspiration* bezeichnet. In dieser Arbeit werden unter dem Begriff *Verdunstung* alle Komponenten der Evapotranspiration, also *Evaporation*, *Transpiration* und *Interzeption* verstanden.

Wasser, das weder abfließt noch verdunstet, wird in tiefere Bodenschichten abgeleitet (Tiefenversickerung). Dabei erreicht es entweder direkt den Grundwasserspiegel und führt so zu einer Grundwasserneubildung oder wird über unterirdische Fließwege abgeführt (Interflow). Wasser, das nach der Infiltration den ungesättigten, durchwurzelten Boden passiert hat, kann praktisch nicht mehr kapillar aufsteigen, so daß es über die Tiefenversickerung potentiell zur Grundwasserneubildung beitragen kann. Die reale Grundwasserneubildung ist dabei von den geologischen Gegebenheiten und dem auftretenden Interflow abhängig. Im Rahmen dieser Arbeit wird unter dem Begriff *Grundwasserneubildung* die *potentielle Grundwasserneubildung*, also die Tiefenversickerung verstanden. Die Begriffe *Grundwasserneubildung*, *Tiefensickerung* und *(Ver-)Sickerung* werden als Synonyme verwendet. Sie ist damit mit der Sickermenge an der Unterseite des effektiven Wurzelraumes identisch.

Sowohl Verdunstung als auch Grundwasserneubildung hängen von Geländeausformung, Ausgangsgestein, Horizontierung, Porenraumverteilung und -kontinuität des Bodens sowie von der Bodenbehandlung durch den Menschen bzw. die Vegetation ab (vgl. WOHLRAB 1973, 21). Letzteres soll dabei im Rahmen dieser Arbeit näher untersucht werden.

Grundwasserneubildung und Verdunstung als vertikale Wasserströme sind nicht nur für die Wasserwirtschaft von großer Bedeutung. Die zur Verfügung stehende Wassermenge ist außerdem für die Einschätzung von Wasservorräten, die Planung von landwirtschaftlichem Anbau und bei anderen Vorhaben eine wichtige Entscheidungsgrundlage. Bislang wurden dafür hauptsächlich Punktmessungen (z.B. Lysimetermessungen) verwendet. Eine flächendeckende Ermittlung der Grundwasserneubildung und Verdunstung war nur durch Interpolation von Punktmessungen möglich, so daß bisher starke Vereinfachungen und Verallgemeinerungen notwendig waren. Für die Planung sind Methoden wie eine flächendifferenzierte Simulation der Grundwasserneubildung und Verdunstung auf Grundlage zeitlich hochaufgelöster Daten daher von großer Bedeutung.

In dieser Arbeit wird exemplarisch der Einfluß der Landnutzung auf die Grundwasserneubildung und die Verdunstung als Teilkomponenten des Wasserhaushaltes untersucht. Das übergeordnete Ziel ist es, zum einen die Methodik der Szenarienentwicklung und zum anderen die Methodik der räumlich differenzierten Simulationsmodellierung für die Landschaftsplanung anzuwenden und zu beurteilen. Es soll exemplarisch sichergestellt werden, ob diese Methoden Instrumente für die Raum- und Landschaftsplanung darstellen können, mit deren Hilfe die Auswirkungen der Planung abgeschätzt werden können. Die Frage ist demnach, ob diese modernen Simulationstechniken in der Landschaftsplanung als *Decision Support System* der Entscheidungsfindung dienen können. Als Grundlage für die Anwendung von Szenarien und Simulationsmodellen in der Landschaftsplanung dient die Verwendung eines Geographischen Informationssystems (GIS).

Die Fragestellung nach dem Einfluß der Landnutzung auf Grundwasserneubildung und Verdunstung wird daher auf zwei Wegen angegangen. Zunächst erfolgt die Entwicklung von Landnutzungsszenarien an einem konkreten Einzugsgebiet. Die räumliche Verteilung der Landnutzungen im Einzugsgebiet des Glan werden dabei anhand des Modells LADEMO simuliert. Anschließend wird eine flächendifferenzierte Berechnung der Grundwasserneubildung und Verdunstung mit dem Verdunstungsmodell TRAIN durchgeführt. Aus den Ergebnissen der Modellierung ist es möglich, Rückschlüsse auf den hydrologischen Einfluß der einzelnen Landnutzungen zu ziehen, was wiederum die Basis für unterschiedliche Planungen darstellt.

Grundlage dieser Untersuchung stellen Landnutzungsszenarien dar, die eine realitätsnahe Einschätzung der potentiellen Entwicklungen des Gebiets darstellen sollen. Die einzelnen Szenarienziele werden daher aus den Gebietscharakteristika, bestehenden planerischen und politischen Rahmenbedingungen und Entwicklungstendenzen entwickelt, was den ersten Teil dieser Arbeit umfaßt. Dabei erfolgt die Beschreibung der aktuellen Gegebenheiten wie der aktuellen Landnutzung und den naturräumlichen Bedingungen in Kapitel 1. Des weiteren folgen in den Kapiteln 2 und 3 die Analysen und Bewertungen der planerischen Festsetzungen sowie der landes- und EU-weiten Förderungsmöglichkeiten, welche die Grundlagen und Perspektiven einer regionalen Entwicklung bilden. Anschließend wird in Kapitel 4 näher auf die historischen Entwicklungen und Tendenzen der Landnutzung und der Landwirtschaft in Deutschland sowie im Einzugsgebiet des Glan eingegangen, bevor eine Zusammenstellung mehrerer Studien erfolgt, die sich mit der Entwicklung der Landnutzung beschäftigt haben. Die Analysen in den Kapiteln 1-4 stellen die Basis für eine Zusammenführung dieser Grundlagen zu realitätsnahen Landnutzungsszenarien in Kapitel 5 dar, welche als wichtiger Schwerpunkt dieser Arbeit zu betrachten ist.

Neben der Entwicklung der Szenarienziele ist es notwendig, die räumliche Verteilung der Landnutzungsveränderungen festzustellen, um den Einfluß auf Grundwasserneubildung und Verdunstung korrekt bestimmen zu können. Auf die Simulation der räumlichen Verteilung anhand des *Land use change DEvelopment MOdel's* (LADEMO) wird in Kapitel 6 näher eingegangen. LADEMO schafft eine Synthese aus der Gesamtbewertung der einzelnen Parameter, der aktuellen Landnutzung und benutzerbezogenen Zielvorgaben, so daß verschiedene Karten mit der möglichen Landnutzungsverteilung das Ergebnis darstellen.

Die räumlich differenzierten Landnutzungsszenarien sowie der Ist-Zustand werden anschließend in das Verdunstungsmodell TRAIN eingelesen. Zusammen mit grundlegenden Parametern, die für die Berechnung bzw. die Modellierung der Grundwasserneubildung und der Verdunstung von Bedeutung sind, simuliert das Modell die räumlich verteilte Grundwasserneubildung und Verdunstung. Die Funktionsweise und die weiteren Einzelheiten werden ebenfalls in Kapitel 6 beschrieben.

Aus den Ergebnissen, die in Kapitel 7 dargestellt, interpretiert und bewertet werden, wird der Einfluß der Landnutzung auf Grundwasserneubildung, Verdunstung und somit auf Wasserhaushaltsvorgänge festgestellt. Diese hydrologische Analyse stellt einen zweiten Schwerpunkt dieser Arbeit dar, auf dessen Grundlage die Anwendbarkeit der Methodik beurteilt wird. Die Folgerungen aus der Untersuchung für das Einzugsgebiet des Glan werden in Kapitel 8 näher erläutert. Hierin werden die Auswirkungen der Ergebnisse sowie der Methodik für die planenden Behörden und Institutionen abgeschätzt.

1 Gebietsbeschreibung

Ziel dieser Arbeit ist eine exemplarische Untersuchung des Einflusses der Landnutzung auf Grundwasserneubildung und Verdunstung. Dabei sind für die Beurteilung des Wasserhaushaltes bzw. dessen Komponenten Vorarbeiten wie die Analyse des Untersuchungsgebietes notwendig. Insbesondere die Auswirkungen von Geomorphologie, Geologie, Bodenverhältnissen und Meteorologie sowie die der Landnutzungsformen spiegeln sich im Wasserhaushalt wider. Die folgende Betrachtung dieser naturräumlichen Gegebenheiten ist daher besonders in Hinblick auf die hydrologischen Auswirkungen gerichtet. Auch die im Anschluß beschriebenen sozio-ökonomischen Bedingungen üben über anthropogen bedingte Änderungen der Landnutzungsformen (vgl. Kap. 4) Einfluß auf den Wasserhaushalt aus.

1.1 Wahl des Untersuchungsgebietes

Ausgewählt wurde das Einzugsgebiet des Glan in Rheinland-Pfalz (vgl. Abbildung 1-1). Es handelt sich um ein mesoskaliges Einzugsgebiet mit einer Größe von 1 222 km².

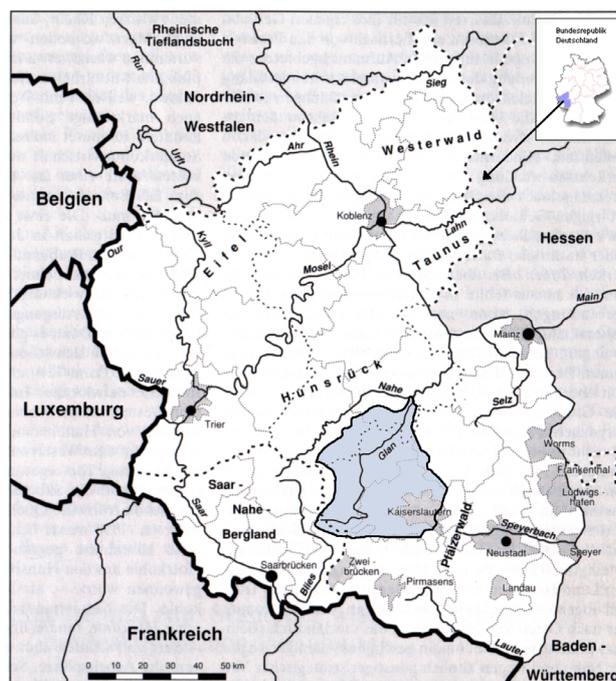


Abbildung 1-1:
Übersicht über die Lage des Untersuchungsgebietes in Rheinland-Pfalz (verändert nach FISCHER 1989, 3)

Dabei war die Gebietsgröße in Hinblick auf die Aufgabenstellung ein wichtiges Kriterium. So steigt nach BRONSTERT/FRITSCH/KATZENMAIER (1999, 50) bei größeren Gebieten der Einfluß des Gewässernetzes an, indem dieses den Einfluß der flächenhaften Gebietseigenschaften überprägt. Infolgedessen wird dadurch bei zu großen Gebieten eine klare Aussage bezüglich des Einflusses der Landnutzung erschwert. Des weiteren war entscheidend, daß die Gebietsgröße für eine mehrjährige Simulation von Verdunstung und Grundwasserneubildung praktikabel war. Dies trifft insbesondere auch hinsichtlich des Rechenaufwandes einer derartigen Simulation zu.

Die Gebietsauswahl erfolgte außerdem nach Kriterien der Landnutzung. So sollte das Gebiet zum einen eine möglichst charakteristische Landnutzungsverteilung aufweisen, d.h. es sollten darin sowohl ländliche als auch städtisch geprägte Regionen enthalten sein. Dies erfordert eine bestimmte minimale Größe. Zum anderen sollten historische Landnutzungsänderungen wie Flächenstillegungen und Siedlungsentwicklungen stattgefunden haben, um aus einer Trendanalyse eine Grundlage für die Szenarien entwickeln zu können.

Für das Einzugsgebiet des Glan sprach außerdem das Vorhandensein von guten digitalen Ausgangsdaten, die für die Modellierungen geeignet waren.

1.2 Datengrundlagen

Als Grundlage für diese Arbeit dienen verschiedene digitale und analoge Daten, wobei die digitalen Datensätze mit den Programmen ArcView 3.1 und Excel 97 weiterverarbeitet wurden. Eine Übersicht ist der Tabelle 1-1 zu entnehmen. Zur Verwendung und Aufbereitung der Daten wird an entsprechender Stelle im Text Stellung genommen.

Tabelle 1-1: Datengrundlagen

Daten		Datenart	Datenquelle
Räumliche Daten	Übersichtskarte 1 : 250 000	Analoge Karte	Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz
	Kreisgrenzen	Vektordatensatz mit Attributtabelle	Planungsgemeinschaft Westpfalz
	Topographische Karte	Digitale Karte auf CD-ROM	Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz
	Digitales Höhenmodell (DHM)	Digitale Rasterdaten als 500 m – Raster	Gesellschaft für geographische Datenverarbeitung in Rheinland- Pfalz
	Straßennetz	Vektordatensatz mit Attributtabelle auf CD-ROM „Landschafts- informationssystem“	Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz
	Bodenübersichts- karte 1 : 250 000	Rasterdatensatz auf CD-ROM „Übersichtskarte der Bodentypen- gesellschaften von Rheinland-Pfalz (BÜK 250)“	Geologisches Landesamt Rhein- land-Pfalz / Landesamt für Was- serwirtschaft Rheinland-Pfalz
	Aggregierte Boden- typen für TRAIN	Digitale Rasterdaten als 500 m – Raster	Potsdam Institut für Klimafolgenforschung
	CORINE-Land- nutzungskartierung	Vektordatensatz mit Attributtabelle von der CD-ROM „Daten zur Bodenbedeckung“ und als 500 m – Rasterdatensatz	Statistisches Bundesamt
	Flächenerhebungen zur Landnutzung	Analoge Statistiken	Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

	Daten	Datenart	Datenquelle
Meteorologische D.	Klimastationsdaten	Digitale Attributtabellen	Deutscher Wetterdienst
	Niederschlagsdaten	Daten des digitalen REGNIE-Rasters, auf 500 m verdichtet	Deutscher Wetterdienst / Potsdam Institut für Klimafolgenforschung
	Ombrometer-meßnetz	Analoge Karte	Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz
	Lysimeterstationen	Digitale Attributtabellen	Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz
Hydrologische Daten	Einzugsgebiet	Vektordatensatz mit Attributtabelle	Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz
	Gewässersystem	Vektordatensatz mit Attributtabelle	Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz
	Abflußdaten Pegel Odenbach	Digitale Attributtabellen	Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz
	Abflußdaten Pegel Odenbach und Eschenau	Analoge Daten	Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch 1997
	Überschwemmungsgebiete	Vektordatensatz	Struktur- u. Genehmigungsdirektion Süd, Regionalstelle für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft u. Bodenschutz Kaiserslautern

1.3 Verwaltungsstrukturen

Nahezu das gesamte Einzugsgebiet des Glan liegt in Rheinland-Pfalz, wobei sich der größte Teil im Regierungsbezirk Rheinhessen-Pfalz in der Region Westpfalz befindet. Ein sehr kleiner Teil des Einzugsgebietes liegt in der Region Rheinhessen-Nahe und ein anderer im Saarland.

Konkret handelt es sich dabei im Saarland nur um die äußersten Quellregionen einzelner weniger Glanabschnitte. In der Region Rheinhessen-Nahe liegt neben kleinen Teilen der Quellregionen von Steinalp, Totenalb, Auers- und Nussbach außerdem der untere Glanabschnitt ab dem Pegel Odenbach bis zu seiner Mündung in die Nahe mit dessen dortigen Zuflüssen.

Für die Datenbeschaffung hat dies insofern Auswirkungen, als daß für das Quellgebiet im Saarland weder Daten für den Ist-Zustand noch für die zukünftige Planung zur Verfügung standen. Für die Region Rheinhessen-Nahe betrifft dies nur die regionale Raumordnungsplanung. Da die Datenbeschaffung und –auswertung hier einen übermäßigen Arbeitsaufwand bedeutet hätte, der nicht im Verhältnis zu den erwarteten Ergebnissen steht, werden diese Teile des Einzugsgebietes bezüglich der Planung bzw. der Bestandsaufnahme vernachlässigt. Es wird davon ausgegangen, daß sich diese eher kleineren Gebiete nicht wesentlich von der Umgebung und der dortigen Planung unterscheiden.

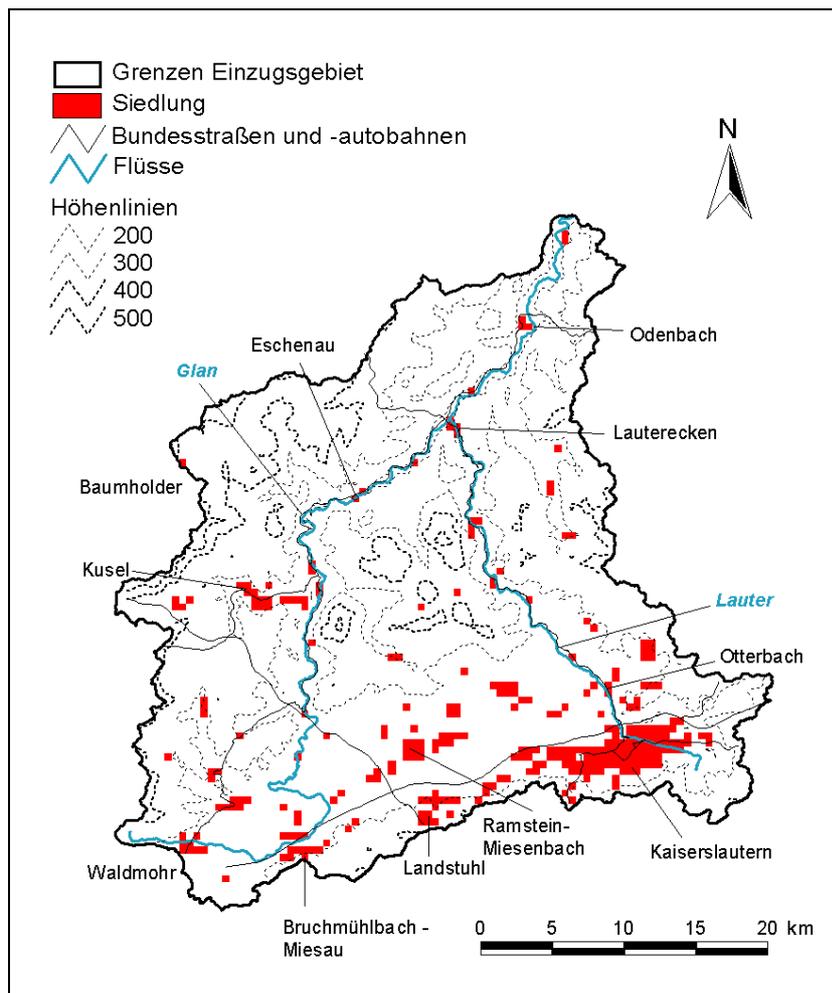


Abbildung 1-2: Übersicht über das Einzugsgebiet des Glan

1.4 Naturräumliche Grundlagen

Das Einzugsgebiet des Glan liegt zum größten Teil in der Großlandschaft *Saar-Nahe-Bergland*. Dieses grenzt im Norden an das Rheinische Schiefergebirge, im Süden an den Pfälzer Wald und im Osten an das Rhein Hessische Tafel- und Hügelland an.

Im Saar-Nahe-Bergland verläuft die naturräumliche Einheit des *Nordpfälzer Berglands* von Südwesten nach Nordosten. Das sich hier befindende Untersuchungsgebiet schließt im Nordwesten an das Obere Nahebergland, im Norden an die Soonwaldstufe und das Untere Naheland an, während es im Süden deutlich gegen die *Landstuhler Senke* abgegrenzt ist (vgl. GfL 1998, 20).

1.4.1 Geomorphologie / Geologie

Das stark gegliederte Berg-, Hügel- und Plateauland des Nordpfälzer Berglands wird im Volksmund als *Buckliges Land* bezeichnet (vgl. MfLWU 1976, 36). Dabei ist das Relief durch ausgedehnte Hochflächen und Bergrücken geprägt, die durch die Täler von Glan, Lauter und deren Zuflüssen zerschnitten werden.

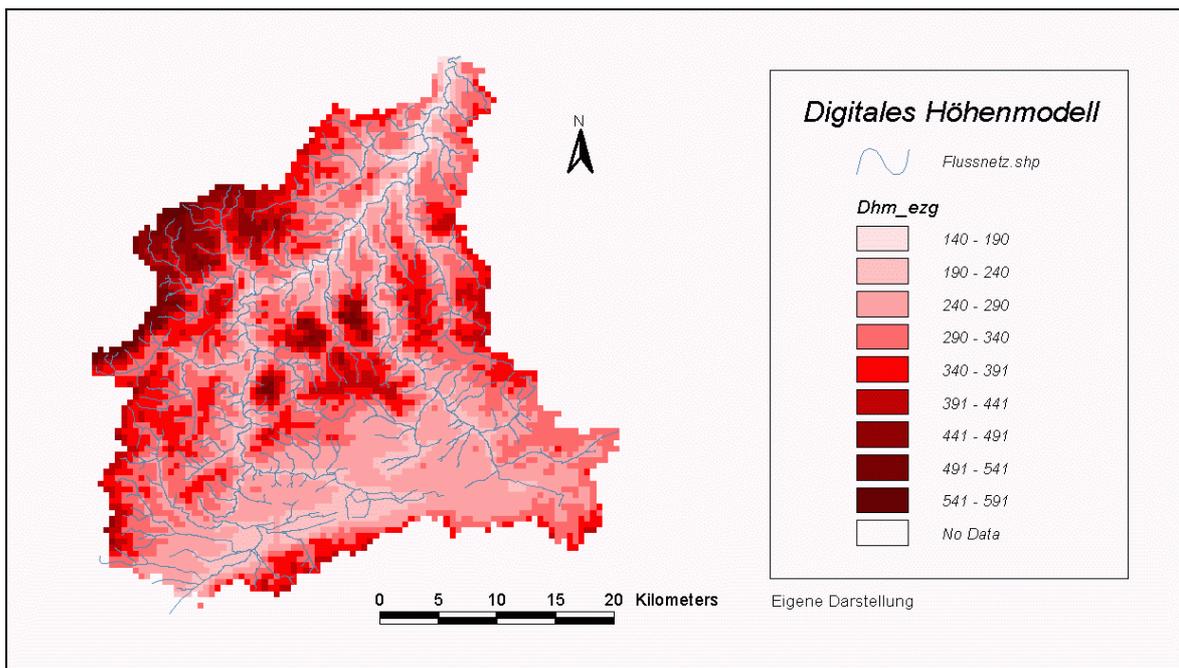


Abbildung 1-3: Digitales Höhenmodell mit Flußnetz des Glan (Datengrundlage: GESELLSCHAFT FÜR GEOGRAPHISCHE DATENVERARBEITUNG IN RHEINLAND-PFALZ)

Topographie

Im Einzugsgebiet des Glan kommen vor allem Höhen zwischen 260 – 360 m NN vor (ca. 50 %), die Höhenstufen von 210 – 260 m NN und 360 – 410 m NN (ca. 33 %) und die von 410 – 460 m NN (ca. 8 %) schließen sich an (vgl. Abbildung 1-4). Die größten Höhen werden nordwestlich an der Grenze zum Einzugsgebiet der Nahe und südwestlich von Wolfstein (Königsberg 568 m NN, Potzberg 562 m NN) erreicht. Darüber hinaus kann man die eingeschnittenen Flußtäler gut erkennen, da auf kleinstem Raum die Höhen von knapp 200 m NN bis über 350 / 400 m NN steigen. Die Landstuhler Senke wirkt mit etwa 230 m NN relativ flach. Besonders im Zentrum ist sie relativ eben mit nur vereinzelt Kuppen. Nur die Randbereiche und das östlich gelegene Kaiserslauterner Becken weisen ein etwas stärkeres Relief auf (vgl. MfUF/LfUG 1997, 11).

Nach FISCHER (1989, 72) herrschen „asymmetrische Talhänge mit steiler Süd- bis Ostexposition“ vor, was man jedoch durch das 500 m – Raster im Digitalen Höhenmodell (DHM) nicht erkennen kann (vgl. Abbildung 1-6). Dasselbe gilt für die daraus entwickelte Hangneigung von durchschnittlich 2,8 % (vgl. Abbildung 1-5).

Die topographischen Daten wie die Exposition und die Hangneigung lagen in Form eines Digitalen Höhenmodells vor, welches von der Gesellschaft für geographische Datenverarbeitung in Rheinland-Pfalz bereitgestellt wurde. Die Daten lagen ursprünglich in einer 20 m – Auflösung vor. Für diese Arbeit konnte jedoch auf aggregierte Daten in Form eines 500 m – Rasters zurückgegriffen werden, was für das Einlesen in die Modelle LADEMO und TRAIN notwendig war (vgl. Kap. 6). Über die Angleichung an die übrigen Datensätze wurde zudem die Vergleichbarkeit der Daten gewährleistet.

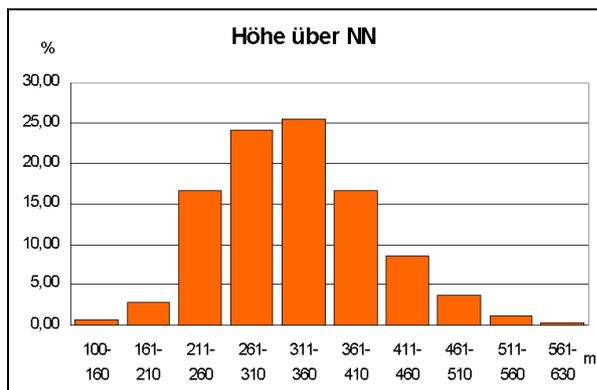


Abbildung 1-4: Prozentuale Höhenverteilungen über NN im Einzugsgebiet des Glan (Datengrundlage: DHM)

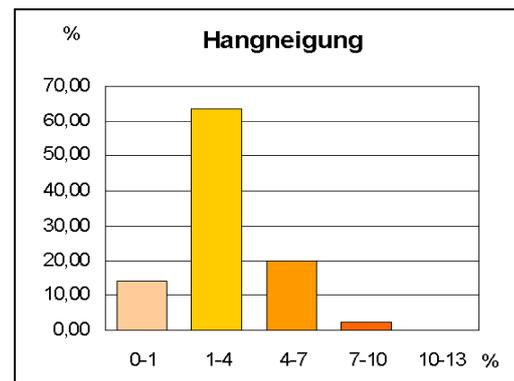


Abbildung 1-5: Prozentuale Hangneigung im Einzugsgebiet des Glan (Datengrundlage: DHM)

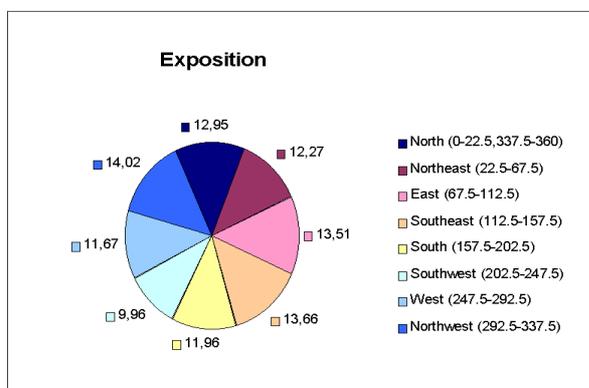


Abbildung 1-6: Prozentuale Anteile der Exposition im Einzugsgebiet des Glan (Datengrundlage: DHM)

Geologie / Geomorphologie

In der Geologie unterscheidet man zwischen

- Petrographie: Art der Gesteine (Magmatite, Sedimentite, Metamorphite),
 - Stratigraphie: Schichtung verschiedener Gesteinsarten und
 - Tektonik: Struktur der Schichtung (Faltung, Brüche, Diskordanzen etc.)
- (vgl. KUNTZE/ROESCHMANN/SCHWERDTFEGER 1994, 31).

Für hydrologische Prozesse sind neben der Gesteinsbeschaffenheit außerdem die Lagerungsverhältnisse bei Satteln, Mulden und Verwerfungen entscheidend (vgl. MfLWU 1976, 1). So bestimmen die Verhältnisse unter anderem die Durchlässigkeit (Permeabilität) für das Sickerwasser, also die Grundwasserneubildung, die Fließgeschwindigkeit und -richtung.

Das Saar-Nahe-Bergland besteht aus jungpaläozoischen Sedimenten (Perm), die von altvulkanischen Ergußgesteinen in breiten Plateaus überlagert werden und so Berg- und

Hügelländer bilden (vgl. FISCHER 1989, 71ff). Das Nebeneinander von vulkanischer Tätigkeit und der unterschiedlichen erosiven Zerschneidung der Sedimente sorgt für einen ständigen Wechsel der Stratigraphie und der Tektonik. So folgen enge, stark zerschnittene Durchbruchabschnitte mit kastenartigem Profil auf weite, ausgereift erscheinende steilmuldige und terrassierte Talabschnitte, die jedoch eine erhebliche Zerkerbung an den Rändern aufweisen.

Die Konglomerate, Sandsteine und Schiefer der Sedimente aus dem Rotliegenden bilden dabei rhythmisch auftretende schrägstehende Wechsellagerungen, die auch im kleinregionalen Raum sehr unruhig wirken. Ursache ist die fortgeschrittene Verwitterung der feinkörnigen und weniger widerstandsfähigen Sedimente, die morphologische Mulden hinterläßt. Im Gegensatz dazu stehen die morphologischen Rücken aus den grobkörnigen und widerstandsfähigeren Sedimenten. Hierbei handelt es sich meist um Porphyrite und Melaphyren. Solche Plateaus mit vulkanischen Härtlingen oder Gipfflächen treten besonders im Oberen Nahe-Bergland auf. Im Einzugsgebiet kommen quarzarme Magmatite aus dem unteren Rotliegenden vor allem in der Nähe von Baumholder und Wolfstein vor.

Die Bedeutung der geologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet des Glan für die Versickerung wird im Kapitel 1.4.4 Grundwasser näher erläutert.

Der südöstlich gelegene Pfälzer Wald erstreckt sich von Süden nach Norden und berührt das Untersuchungsgebiet nur am Rande in der Quellregion der Lauter südlich von Kaiserslautern. Er ist Teil des altmesozoischen Schichtstufenlands. Die Form des Buntsandsteingebirges des Pfälzer Walds entstand durch periglaziale Abtragungsvorgänge der acht flächenhaften Buntsandsteinstufen, so daß sich stark zerschnittene Stufenränder, Steilhänge und Felsbastionen neben flachwelligen Landterrassen bildeten (vgl. FISCHER 1989, 68). Die typischen Landschaftsformen sind Kasten- oder Tafelberge (vgl. HENNINGSEN/KATZUNG 1998, 117) mit tief eingeschnittenen Flüssen.

Die im Süden des Einzugsgebietes gelegene Landstuhler Senke befindet sich zwischen Neunkirchen und Kaiserslautern. Sie ist eine 2 – 4 km breite und über 40 km lange Mulde, die sich von Südwesten nach Nordosten zieht. Sie zeichnet sich durch eine Vielfalt an Kleinformen wie Bruch-, Moor-, Becken- und Plattenlandschaften aus, die ihr Landschaftsbild prägen. Ihre wasserstauende Eigenschaft verdankt sie verlagerten Tonschichten des unteren und mittleren Buntsandstein (vgl. MfUF/LfUG 1995, 204). Dabei ist die Mulde im Zentrum der Landstuhler Senke mit quartären Sedimenten wie Flußschottern, Dünenansanden und Torfen verfüllt (vgl. MfUF/LfUG 1997, 11).

1.4.2 Boden

Der Boden ist Teil der obersten belebten Verwitterungsschicht der Erde. Er ist nach unten durch die Lithosphäre und nach oben durch eine Vegetationsschicht bzw. die Atmosphäre abgegrenzt. Zur Seite geht er gleitend in andere, benachbarte Böden über (vgl. SCHEF-

FER/SCHACHTSCHABEL 1992, 1). Er bildet damit für das Wasser ein wichtiges Bindeglied zwischen Atmosphäre und festem bzw. lockerem Gestein. Neben der Niederschlagsspende ist er dafür verantwortlich, welche Wassermenge in die oberste Bodenschicht eindringt oder abfließt, wieviel weiter versickert, von den Pflanzen verbraucht wird oder wieder verdunstet. Ursachen dafür sind in seinen physikalischen, chemischen und biologischen Merkmalen zu suchen. Dazu gehören z.B. Mächtigkeit, Profilaufbau, Oberflächengestaltung und Bewuchs genauso wie die klimatische und geographische Lage. Wichtigstes Kriterium für die Grundwasserneubildung ist dabei die Permeabilität des Bodens (vgl. MfLWU 1976, 26).

Dabei gilt es zu beachten, daß sich die festen Gesteine im Untergrund von den oben aufliegenden Bodenschichten unterscheiden können. Je nach Gesteinsbeschaffenheit, Relief, klimatischen Verhältnissen sowie Einwirkungen durch Flora, Fauna und Mensch entwickeln sich unterschiedliche Bodentypen aus dem festen Gestein (vgl. SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1992, 363). Diese Veränderungen treten durch physikalische, chemische und biologische Verwitterung in erster Linie an der Geländeoberfläche ein, da hier die Einwirkungen am stärksten sind. Auf diese Weise kommt es vor, daß die oben aufliegenden Böden andere Eigenschaften bezüglich des Wasserhaushaltes besitzen als die tiefer liegenden Gesteine.

„Die Permeabilität eines Bodens hängt in erster Linie von der Bodenart sowie vom Anteil und der Art der Grob- oder Makroporen ab“ (MfLWU 1976, 27). Sie steigert sich mit zunehmender Porengröße und -anzahl, welche wiederum mit der Korngröße des Bodens wächst. Daher lassen sich aus der Bodenart Rückschlüsse auf das Eindringen des Niederschlages in den Boden und die Durchlässigkeit des Bodens ziehen. Dabei sind insbesondere für die Infiltration außerdem der durchschnittliche Wassergehalt, das Klima, das Relief und der Bewuchs zu beachten. Für die Grundwasserneubildung ist es zudem wichtig, ob z.B. Schichtböden eine Perkolation verhindern (ebd.). Dies ist z.B. bei den Ton-schichten im Buntsandstein der Landstuhler Senke der Fall. Es scheint daher sinnvoll, für die Modellierung der Grundwasserneubildung und der Verdunstung mit TRAIN eine entsprechende Klassifizierung der Böden vorzunehmen (vgl. Kap. 6.4). Im Gegensatz dazu sind für den Bewuchs und die Landnutzung auch andere Eigenschaften des Bodens wie der Nährstoffgehalt oder das Relief ausschlaggebend.

Im Einzugsgebiet des Glan haben sich auf den härteren Konglomeraten und den Melaphyren des unteren Rotliegenden Höhenrücken, Kämme und Engtalstrecken mit flachgründigen und steinigen Böden entwickelt. Dabei verwitterte basisches Ausgangsmaterial der vulkanogenen Gesteine (Melaphyren) zu basenreichen Braunerden, während porphyritische Gesteine wie am Königsberg dementsprechend basenarme Braunerden ausbildeten. An Hanglagen liegen sie häufig als Ranker vor, bei dem der humose Oberboden nach 10 – 50 cm in die verwitterte Felszone übergeht (vgl. LfW 1989, 62). Auf Sandsteinen und den weicheren Konglomeraten entwickelten sich häufig flachgründige,

trockene Böden aus verlehmtten Braunerden mit geringer Basenversorgung (Rendzinen) bzw. an Hanglagen auch basenfreie Ranker.

Verebnungen, Mulden und Talaufweitungen entstanden aus besser verwitterbaren roten Sandsteinen und Schiefertönen aus dem unteren Buntsandstein bzw. dem Oberrotliegenden. Dabei bildeten sich tiefgründige, basenarme und sandig-lehmige Braunerden mit guter Durchlüftung. Bei dennoch auftretendem Wasserstau entwickelten sich Pseudogleye.

In den Rand- und Übergangsbereichen der Terrassenkörper der Nahe oder auf den vulkanogenen Landschaften der Nordpfalz treten auf den Hängen auch Hanggleye und Hangpseudogleye auf (vgl. FISCHER 1989, 93).

Auf den Buntsandsteinen des Pfälzer Waldes und der Landstuhler Senke bildeten sich in der Regel magere Böden wie zum Teil vergleyte und stark degradierte Ranker oder Podsole. Hier kristallisierte sich statt einer landwirtschaftlichen eher eine forstwirtschaftliche Nutzung heraus (vgl. HENNINGSEN/KATZUNG 1998, 116) oder es kam durch Bruchfallen der Flächen zu einer natürlichen Verheidung. Ursache ist das relativ nährstoff- und tonarme Ausgangsgestein, aus dem bei den hohen Niederschlägen und dem durchlässigen Grobsand die löslichen Verwitterungsrückstände leicht ausgewaschen werden. Durch die Hanglage bedingt sorgen Abkriechungen der Moderböden für ein flaches Bodenprofil. In den vorgelagerten Bereichen bildeten sich Parabraunerden und degenerierte Tschernoseme aus. Ackerbau ist nur auf tonig-lehmigen Verwitterungsböden in breiteren Talweitungen und auf Schotterflächen möglich (vgl. FISCHER 1989, 131).

Des Weiteren sind die quartären Sedimente der Landstuhler Senke stark grund- und stauwasserbeeinflusst, so daß sich hier Pseudo-, Anmoor- und Naßgleye herausbildeten. Mit den Jahrtausenden entstanden Moorböden mit bis zu 4 m Mächtigkeit, die allerdings größtenteils abgebaut oder vererdet wurden. Durch die Kultivierung des Bruchs kam es zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels und damit zu einer Veränderung des Landschaftsbildes (vgl. MfUF/LfUG 1997, 11). Heute findet man häufig für den Ackerbau mit Sand vermischte Torfböden vor. Dennoch gilt die Landstuhler Senke durch ihre wasserstauenden Tonschichten auch heute noch als für die Grundwasserneubildung und Trinkwassergewinnung wichtiges Gebiet mit einer hohen Wasserspeicherkapazität (vgl. MfUF/LfUG 1995, 204).

Die digitale Datengrundlage für die Böden des Glan entstammt der CD-ROM „Übersichtskarte der Bodentypengesellschaften von Rheinland-Pfalz (BÜK)“ des geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz, die jedoch vom Landesamt für Wasserwirtschaft zur Verfügung gestellt wurde. Die aus einer Kartierung von 1966 stammenden Daten lagen ursprünglich im Maßstab 1 : 250 000 in Vektorform vor. Für diese Arbeit konnte jedoch auf Daten in Form eines bereits aggregierten 500 m – Rasters zurückgegriffen werden, das direkt in die Modelle LADEMO und TRAIN eingelesen werden konnte.

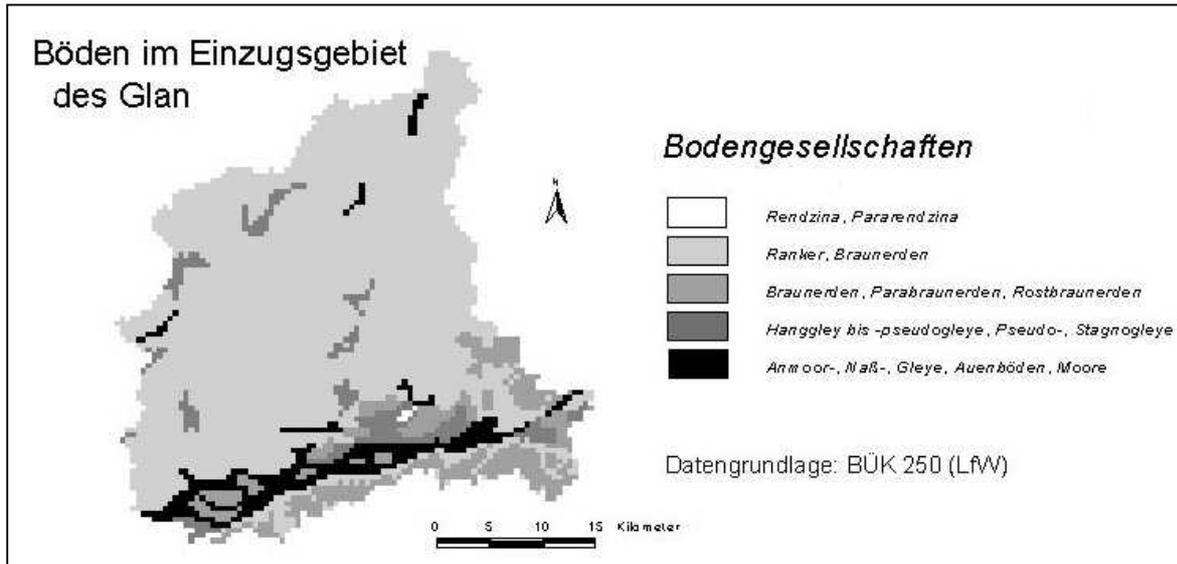


Abbildung 1-7: Böden im Einzugsgebiet des Glan

Im Raumordnungsbericht 1998 (vgl. MIS 1998, Karte 3.1.a) wurde die Bodenübersichtskarte (BÜK 250) zusammen mit dem Digitalen Geländemodell ausgewertet. Das Ergebnis wurde dem Landschaftsrahmenplan (LEP 1980, Schutzgut Boden) entnommen und stellt die *Potentielle Erosionsgefährdung durch Wasser* in Rheinland-Pfalz dar. Es ist gut zu erkennen, daß mit steigendem Gefälle die Erosionsgefahr deutlich ansteigt, so daß im Untersuchungsgebiet meist eine große bis sehr große potentielle Erosionsgefährdung herrscht. Ausnahmen bilden die Flußtäler des Glan und seiner Zuflüsse sowie die Landstuhler Senke, was vor allem an dem geringen Gefälle liegen dürfte.

Im Rahmen dieser Arbeit ist dies insofern interessant, wenn man die Verbindung zwischen Hangneigung, Erosion und Landnutzung zieht. So kommt es, wie im Kapitel 1.4.7 beschrieben wird, in Hangbereichen statt zu einer ackerbaulichen Nutzung eher zu einer Grünland- oder in Steilhangbereichen zu einer forstwirtschaftlichen Nutzung.

1.4.3 Klima

Das Klima stellt neben Geomorphologie und Böden eine weitere wichtige Einflußgröße für die Landnutzung, insbesondere für die Landwirtschaft dar. Diese Wirkung tritt zum einen direkt über Temperatur und Niederschlag ein. Zum anderen beeinflussen aber auch indirekt andere Auswirkungen des Klimas wie Eis, Wind oder Oberflächenwasser die Gestalt der Erdoberfläche und damit die Bodenbeschaffenheit und den Wasserhaushalt. So wurde die heutige Morphologie Mitteleuropas größtenteils periglazial bzw. glazial überprägt, wobei sie sich seitdem nur unwesentlich verändert hat (vgl. FISCHER 1989, 51).

Der überwiegende Teil von Rheinland-Pfalz gehört dem westeuropäisch-atlantischen Klimabereich an, was im allgemeinen milde Winter, gemäßigte Sommer und relativ hohe Niederschlagssummen bedeutet. Großräumig kommen vor allem westliche Windströmungen

gen vor. Bei ozeanischen Klimaverhältnissen gibt es keine auffälligen Unterschiede zwischen den Höchst- und den Tiefstwerten der Temperatur. Insgesamt sorgt jedoch das lokale Relief für relativ große regionale Abweichungen des kleinräumigen vom oben beschriebenen großräumigen Klima. Aus dem *Klimadiagramm-Weltatlas* von WALTER UND LIETH geht hervor, daß die Region um Kaiserslautern eine „temperierte humide Zone mit ausgeprägter, aber nicht sehr langer, kalter Jahreszeit“ (1960, 2) darstellt.

Um dies zu konkretisieren, stehen im bzw. um das Einzugsgebiet des Glan mehrere *Klimastationen* des Deutschen Wetterdienstes (DWD), das *Ombrometermeßnetz* (LfW) und verschiedene *Lysimeterstationen* zur Verfügung. Dabei weisen jedoch nur die Stationen in Homburg/Saar (235 m NN), Wolfstein (200 m NN), Kaiserslautern (248 m NN) und St. Wendel-Leitersheim (420 m NN) langjährige Meßreihen der Temperatur für eine allgemeingültige Aussage und Analyse auf.

Die Niederschlagswerte entstammen Daten des Deutschen Wetterdienstes. Dabei erfolgte in dieser allgemeinen Darstellung des Gebietes eine Beschränkung auf die Stationen Kaiserslautern und St. Wendel-Leitersheim, während für die Modellierung mit TRAIN auf interpolierte Daten von ganz Rheinland-Pfalz zurückgegriffen wurde (vgl. Kap. 6.3). Für die räumliche Verteilung der Niederschläge wurde die Karte des *Ombrometermeßnetzes* (LfW) ausgewertet.

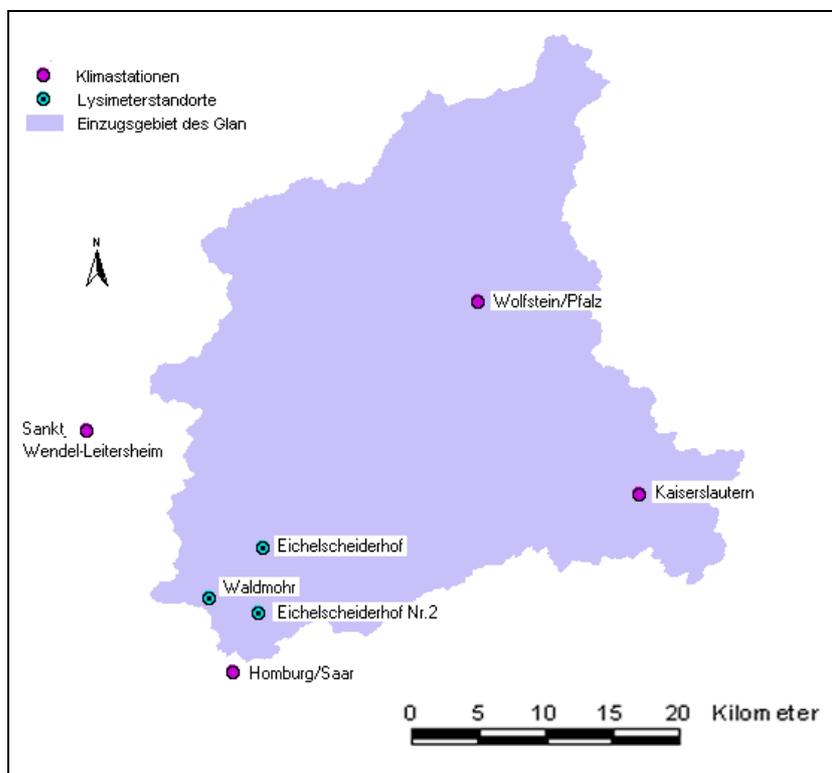


Abbildung 1-8: Lage der Klima- und Lysimeterstationen im Einzugsgebiet des Glan

Für die Auswertung der Sickerwassermengen wurden die Daten der *Lysimeterstationen* Waldmohr (280 m NN), Eichelscheiderhof Nr. 1 (253 m NN) und Nr. 2 (253 m NN) hinzugezogen. Eine Analyse der Lysimeterdaten erfolgt im Kapitel 6.4.5 bei der Verifizierung des Modells TRAIN für das Einzugsgebiet. Insgesamt wurde bei der Auswahl der Stationen vor allem auf die Länge und Vollständigkeit der Zeitreihe der vorhandenen Daten geachtet. Außerdem waren die räumliche Verteilung über das Einzugsgebiet bzw. um das Gebiet herum sowie die Bodennutzung (bei den Lysimetern) entscheidend. Leider konnte bei den Lysimetern keine gleichmäßige Verteilung über das Einzugsgebiet erreicht werden, da insbesondere die Zeitreihen der übrigen zur Verfügung stehenden Lysimeter unvollständig waren.

Temperatur

Der Jahresgang der Temperatur übt einen besonderen Einfluß auf die landwirtschaftliche Nutzung und damit auf die Landnutzung aus. Beispielsweise keimt die Gerste erst bei einer durchschnittlichen Tagestemperatur von über 5°C, während der Weizen mindestens 6°C benötigt (vgl. MfLWU 1976, 57). Die Hauptvegetationsperiode beginnt mit der Blattbildung ab einer mittleren Tagestemperatur von 10°C (ebd.).

Durch die allgemeine Höhengliederung kommt es in ganz Rheinland-Pfalz zu einer ausgeprägten Stufung der Temperaturverhältnisse. Dabei kann man nach FISCHER (1989, 79) drei Höhenstufen differenzieren:

1. Gebiete mit Höhenlagen bis 250 m NN, maximal 300 m NN:

In Niederungen, Tälern, tiefgelegenen Becken oder Flußtälern vor den Gebirgen beträgt die mittlere Monatstemperatur immer über 0°C, wobei die Jahresdurchschnittstemperaturen der Stationen Kaiserslautern, Homburg/Saar und Wolfstein bei 9.2°C bzw. 9.3°C liegen (vgl. Abbildungen 1-9 bis 1-11).

Das kleinräumige Klima ist hier besonders von Sonnen- und Schattenlagen abhängig, was in der Jahresmitteltemperatur bis zu 3°C Differenz ausmachen kann. Die Bildung von Kaltluftseen ist typisch. Bei Inversionswetterlage kann dies zu einem Temperaturunterschied von bis zu 5°C zwischen höher und tiefer gelegenen Gebieten führen. So ist die Landstuhler Senke zwar einerseits durch die tiefe Lage wärmebegünstigt. Andererseits führen Kaltluftansammlungen und der hohe Wassergehalt der Torfböden mit der entsprechenden geringen Wärmekapazität zu einer erhöhten Frostempfindlichkeit.

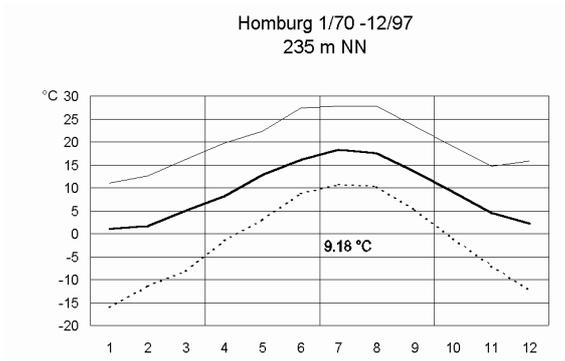


Abbildung 1-9: Mittlere Monatsminima, -mittel und -maxima der Temperatur in Homburg (1970-1997)

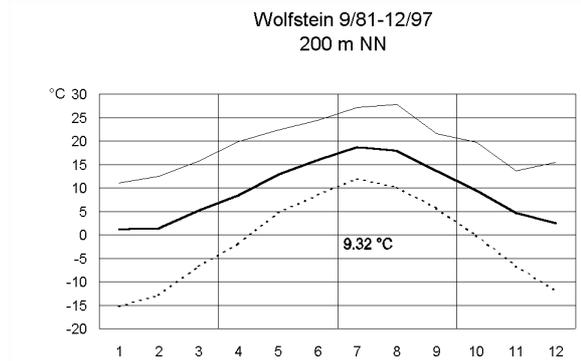


Abbildung 1-10: Mittlere Monatsminima, -mittel und -maxima der Temperatur in Wolfstein (1981-1997)

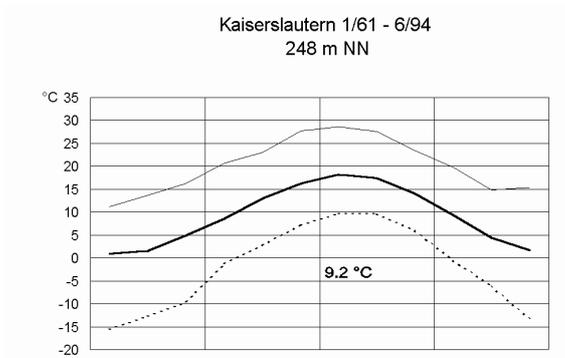


Abbildung 1-11: Klimadiagramm Kaiserslautern: Mittlere Temperaturverläufe sowie prozentuale Anteile der monatlichen Niederschlagssummen (1961-1994)

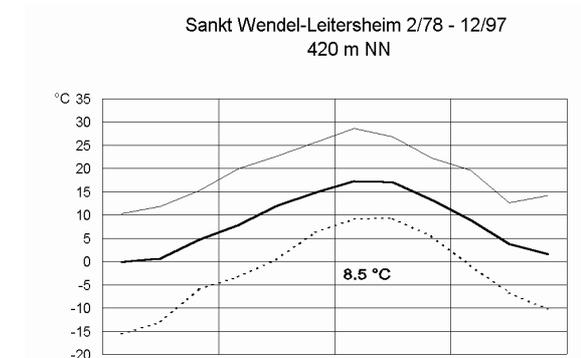
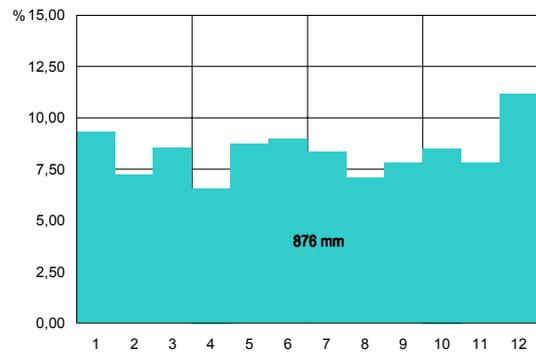
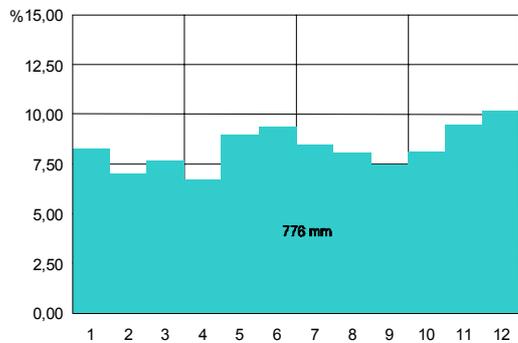


Abbildung 1-12: Klimadiagramm Sankt Wendel-Leitersheim: Mittlere Temperaturverläufe sowie prozentuale Anteile der monatlichen Niederschlagssummen (1978-1997)



Legende:

- mittleres Monatsmaximum
- mittleres Monatsmittel
- mittleres Monatsminimum

mittlere prozentuale Niederschlagssummen

9.2 °C Jahresmitteltemperatur

778 mm Jahresniederschlag

2. Gebiete der mittleren Höhenstufe von 300 – 400 m NN:

Im Saar-Nahe-Bergland und den mittleren Höhen des pfälzischen Stufenlandes kommt es im Januar im Mittel bereits zu Temperaturen von unter 0°C. Dabei liegen die Jahresmittel der Temperaturen zwischen 8°C und 9°C.

3. Gebirgslagen mit über 400 m NN Höhenlage:

Durch den atlantischen Einfluß sinkt die Durchschnittstemperatur im Januar in dieser Höhe zwar deutlich unter 0°C, selten jedoch unter –2°C. Dies kann man auch am Klimadiagramm von Sankt Wendel-Leitersheim gut erkennen (vgl. Abbildung 1-12). Die Frostgrenze ist dabei stark dem Einfluß der Reliefgestaltung und der westlichen Winde unterworfen (Kaltluftstau). Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt hier nur noch 8.5°C.

Insgesamt kann man davon ausgehen, daß im Glantal durchschnittlich 30-40 Sommertage¹ auftreten, während es im Saar-Nahe-Bergland wegen der zunehmenden Höhe nur noch 14 Sommertage sind (vgl. FISCHER 1989, 79f). Dies führt dazu, daß nach Schätzungen im Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Nahe im Tal die Vegetationsperiode² etwa 240 Tage dauert, während sie in den Höhenlagen mit 210 Tagen aufgrund der kühleren Temperaturen bereits verkürzt ist (vgl. MfLWU 1976, 58). Auf den Wasserhaushalt hat dies insofern Auswirkung, als daß bei einer verlängerten Vegetationsperiode mit einer verstärkten Verdunstung zu rechnen ist.

Niederschlag

Der Niederschlag wird als das *wichtigste Glied im Wasserkreislauf* bezeichnet, da er den Wasserlieferanten im Wasserkreislauf darstellt (vgl. MfLWU 1976, 39). Von der Menge, der Verteilung und der Intensität hängen die anderen Größen des Wasserhaushaltes unmittelbar ab. Verdunstung, Versickerung und Abfluß sind außerdem noch von Vegetation, Temperatur, Bodeneigenschaften und Hangneigung abhängig (s.o.).

Der durchschnittliche Wert von 800 mm Niederschlag im Jahr in Rheinland-Pfalz ist aufgrund der geomorphologischen Gestaltung nicht sehr aussagekräftig. So ergeben sich durch die lokale Differenziertheit des Gebietes große räumliche und zeitliche Unterschiede. Aus der Karte des Ombrometermeßnetzes (LfW 1999) geht hervor, daß die Niederschläge im Einzugsgebiet des Glan insgesamt von West nach Ost abnehmen. Dies liegt an mehreren Faktoren. So bringt der aus westlichen Richtungen kommende Wind niederschlagsreiches Wetter vom Ozean, die an den Höhenzügen abregnen. Vorgelagerte Gebirge wie der Hunsrück oder das Saar-Nahe-Bergland sorgen auf diese Weise für eine Luv- und

¹ Ein *Sommertag* hat per Definition eine maximale Tagestemperatur von über 25°C (FISCHER 1989, 80).

² Dazu zählen Tage mit einer durchschnittlichen Tagestemperatur von über 5°C (ebd.).

Leelage bezüglich Niederschlag, Sonnenscheindauer und Temperaturen (vgl. FISCHER 1989, 78f).

Zusätzlich zu dieser lageabhängigen Niederschlagsverteilung kann man eine entsprechende Höhenabhängigkeit erkennen. Die regenreichen Wolken sammeln sich an den Hängen, um dort aufzusteigen und abzuregnen. So kommt es in den Flußtäälern des Glan zu Niederschlägen um die 700 mm (vgl. LfW 1999; FISCHER 1989, 77), während in den höheren Lagen wie zum Beispiel in St. Wendel-Leitersheim (420 m NN) durchschnittlich 876 mm Niederschlag fallen. Kaiserslautern liegt durch seine niedrigere Lage (248 m NN) und die relative Entfernung zu den im Westen gelegenen Gebirgen mit durchschnittlichen 776 mm im Mittelfeld (vgl. Abbildung 1-11 u. 1-12). Durch die westlich von Kaiserslautern liegende Landstuhler Senke können die regenreichen Wolken hier ungehindert vorstoßen.

Darüber hinaus kommt es in den Höhenlagen durch die verstärkte Wolkenbildung besonders im Winter zu einem erhöhten Nebel- und Wolkenniederschlag. Während in den Höhenlagen des Hunsrück mit etwa 200 Nebeltagen zu rechnen ist, sind es in den Tälern von Nahe und Glan nur etwa 50 Tage (vgl. MfLWU 1976, 61). Diese Art von Niederschlag setzt sich direkt an Bäumen und Gräsern etc. ab und wird daher von den üblichen Regenmessern nicht erfaßt. Da er aber im Abfluß eines Gebietes erscheint, fällt die Berechnung der Verdunstung mit der Wasserhaushaltsgleichung³ geringer aus als sie in der Realität ist (vgl. MfLWU 1976, 62).

Unsicherheiten der zugrunde liegenden Daten und Messungen liegen in der Regel bei $\pm 5 - 10\%$ (ebd.). Sie entstehen neben solchen oder anderen Meßfehlern z.B. infolge von Lage- und Standortbesonderheiten. So können windexponierte oder auch –geschützte Standorte die realen Verhältnisse nicht genau wiedergeben.

Für die *ozeanischen* Klimaverhältnisse in Rheinland-Pfalz ist ein sommerliches Niederschlagsmaximum typisch. Dieses ist zum einen im *Klimadiagramm-Weltatlas* von WALTER UND LIETH (1960) anhand einer 40jährigen Meßreihe in Kaiserslautern vor 1960 zu erkennen, zum anderen wird es von FISCHER (1989, 77f) beschrieben. Aus den interpolierten Daten der Stationen St. Wendel-Leitersheim und Kaiserslautern geht dies allerdings nicht ohne weiteres hervor (vgl. Abbildung 1-11 u. 1-12).

Statt dessen kann man hier einen eher indifferenten Jahresgang erkennen, der neben dem sommerlichen Maximum ein deutliches Maximum in den Wintermonaten zeigt. Dies wird im Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Nahe bestätigt. Hier wird das Einzugsgebiet des Glan mit einem meist ausgeglichenen Jahresgang ohne ausgeprägte Trockenzeiten charakterisiert und dem Mittelgebirgstyp zugeordnet (vgl. MfLWU 1976, 47).

³ Verdunstung (V) = Niederschlag (N) – Abfluß (A)

Bei der genaueren Betrachtung stellt man fest, daß zwischen den Hoch- und Tieflagen insbesondere im Winter stärkere Gegensätze bestehen. So sorgen vorherrschende West- und Südwestwetterlagen vor allem in den Höhen für ein deutliches Niederschlagsmaximum von Dezember bis Januar. Ursache ist der hier größere Einfluß der Stauregen (vgl. MfLWU 1976, 43). In Klimadiagramm von St. Wendel-Leitersheim kann man dieses Wintermaximum und einen sekundären Gipfel im Juni gut erkennen (vgl. Abbildung 1-12). Im Sommer ergeben sich durch die vorherrschenden Ost- und Nordostwetterlagen häufig Schauer mit Gewittern, die besonders in den Tieflagen zu ergiebigen Regenfällen führen. Auf diese Weise kommt es in den Monaten Juni bis Juli zu einem deutlichen Gipfel in der Niederschlagsverteilung (ebd.). Aus dem Klimadiagramm von Kaiserslautern wird das sommerliche Maximum zwar ersichtlich, allerdings fällt der Höchstwert im Dezember stärker aus (vgl. Abbildung 1-11).

Der Anteil von Schneefällen liegt in den Höhenlagen bei über 20 %, während er in den Tälern bei unter 10 % liegt (vgl. MfLWU 1976, 49). Für den Wasserhaushalt ist dies von unmittelbarer Bedeutung. Niederschlag, der in fester Form vorliegt, steht weder dem Abfluß noch der Versickerung zur Verfügung. Auf diese Weise gelangt das winterliche Niederschlagsmaximum nicht direkt zum Abfluß, sondern kann bis zum Frühjahr und damit bis zum Vegetationsbeginn gespeichert werden. Hinzu kommt, daß im Einzugsgebiet des Glan im April ein Niederschlagsminimum zu erkennen ist.

1.4.4 Grundwasser

In Rheinland-Pfalz kommt es durch ausreichenden Niederschlag zu einer regelmäßigen Auffüllung des Grundwasservorrates, wobei die Wasserführung in den permischen Hügelländern an Nahe und Glan sehr unterschiedlich ist. Die Niederschlags- und die Temperaturverteilung über das Jahr sorgen dafür, daß die Vorräte über den Winter aufgefüllt, während sie im Sommer durch die Trinkwassergewinnung reduziert werden. Neben der Niederschlagsmenge und der Temperatur sorgen geologische und morphologische Gegebenheiten für das Abflußverhalten des Niederschlages. Somit bestimmen neben der Niederschlagsmenge vor allem Bodenstruktur und geologischer Aufbau des Untergrundes die Grundwasserneubildung, -speicherung und -verfügbarkeit genauso wie die natürliche Grundwasserbeschaffenheit.

Im Saar-Nahe-Bergland liegen durchlässige und undurchlässige Schichten der jungpaläozoischen Sandsteine, Konglomerate und Magmatite im Wechsel vor. Dabei zeichnen sich die Sedimente im Rotliegenden durch eine schlechte Kornsortierung und durch die Verkittung der vorhandenen Poren mit karbonatischen Bindemitteln aus. Dies führt dazu, daß nur die Klüfte und Zerrüttungszonen der Störbereiche wasserwegsam sind (*Kluftgrundwasserleiter*). Die Folgen sind zum einen das geringe Wasserrückhaltevermögen des Grundgesteins, zum anderen ein geringes natürliches Reinigungsvermögen. Aber auch die

zum Teil hohen Schwankungen in der Wasserführung und damit in der Grundwassererschließung lassen sich darauf zurückführen (vgl. LfW 1989, 56).

Die Magmatite im Rotliegenden (Porphyrite und Melaphyre) besitzen im allgemeinen ein engständiges Kluftsystem mit geringem Kluftvolumen und vielen Blasen Hohlräumen (Mandelsteingefüge). Da diese jedoch mit Kalzit, Chlorid, Achat und Karneol gefüllt sind, ist die Folge auch hier eine sehr eingeschränkte Wasserspeicherung und –bewegung bzw. Grundwasserneubildung (ebd. 61).

Der Mittlere Buntsandstein im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes besteht aus fein- und mittelkörnigen Sandsteinen mit verschiedenen Bindemitteln. Dadurch handelt es sich hier meist um Kluftwasserbereiche, die von Porenwasserbereichen durchzogen werden. Die Folge ist eine von vorhandenen Kluftzonen stark abhängige Wasserführung (vgl. MfLWU 1976, 15).

In der Landstuhler Senke kann man den tiefgründig verwitterten Buntsandstein als „kombinierte[n] Poren-/ Kluftgrundwasserleiter mit hoher Ergiebigkeit“ bezeichnen (LfW 1989, 51). Die vorhandenen Poren sorgen für ein großes Filtrations- und Rückhaltevermögen. Infolge des Lockergesteinscharakters ist außerdem die Versickerung größer (vgl. MfLWU 1976, 15).

Im Raume Kaiserslautern sorgen mächtige Schluff- und Tonsteinlagen für eine Stockwerksgliederung. „Grundwasser tritt aus Schicht- Störungs-, Talrand- und Talbodenquellen aus“ (LfW 1989, 51). Insgesamt ist hier die Wasserverfügbarkeit dadurch besonders hoch (vgl. MfLWU 1976, 15).

Die Unterschiede in der Wasserführung bzw. –verfügbarkeit spiegeln sich auch in den Wasserentnahmen für die öffentliche Wasserversorgung und für die Industrie wider. So wird insbesondere in den Landkreisen Kaiserslautern Stadt und Land Grund- und Quellwasser entnommen, während im Landkreis Kusel deutlich weniger Entnahme stattfindet.

1.4.5 Gewässernetz

Das Gewässernetz in Rheinland-Pfalz ist allgemein zum Rhein hin orientiert. So münden fast alle Gewässer als Nebenflüsse I. oder II. Ordnung in den Rhein. Dabei folgen sie in der Regel den morphologischen Gegebenheiten. Im Zuge der Industrialisierung fanden zahlreiche Ausbaumaßnahmen an den einzelnen Tal- und Gewässersystemen statt.

Unterhalb der Lautermündung wird der Glan als Gewässer I. Ordnung geführt, darüber und mit den Nebenflüssen Lauter und Odenbach als Gewässer II. Ordnung und alle anderen Nebenflüsse als Gewässer III. Ordnung. Die Wasserscheiden zwischen den einzelnen Einzugsgebieten werden durch Kammlinien, Höhenzüge und Stufenränder orographisch markiert (vgl. FISCHER 1989, 86). Die Linienführung des Glan wurde im Zuge der Ausbaumaßnahmen keinen großen Veränderungen unterworfen (vgl. MfLWU 1976, 73). Ferner wurden hier keine Talsperren errichtet (vgl. MIS 1998, 174).

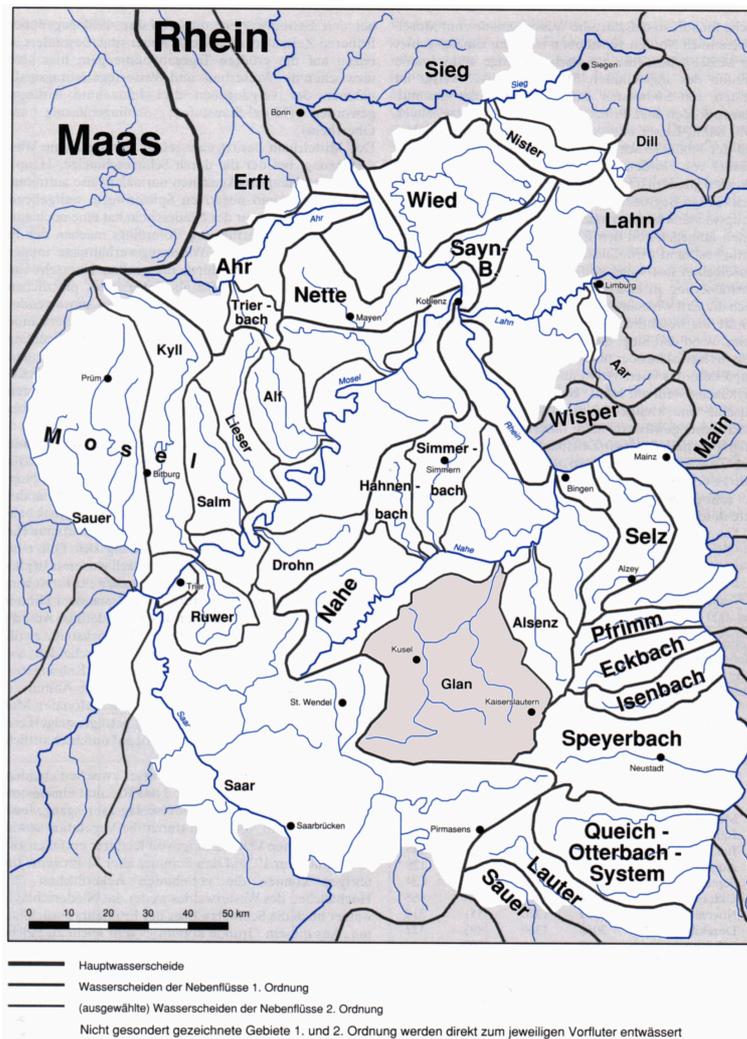


Abbildung 1-13: Gewässernetz (verändert nach FISCHER 1989, 87)

Flußgebiet des Glan

Das Untersuchungsgebiet, das Einzugsgebiet des Glan, liegt in Rheinland-Pfalz und umfaßt bis zum Pegel in Odenbach (in der Region Westpfalz) 1087 km². Der Glan entspringt bei Höchen im Saarland (an der Grenze zu Rheinland-Pfalz) in einer Höhe von 430 m ü. NN und mündet bei Odernheim in die Nahe, die wiederum in den Rhein mündet. Der Glan durchfließt auf seinem Weg die Landstuhler Senke, bevor er nach Nord bis Nordosten das Nordpfälzer Bergland durchquert. Die Fließlänge von der Quelle bis zur Mündung beträgt dabei 89 km, wobei er einen Höhenunterschied von 300 m bewältigt (vgl. MfLWU 1976, 78).

Die engen Kerbtäler des Mittel- und Unterlaufs bieten kaum Retentionsmöglichkeiten. In Verbindung mit den geologischen Eigenschaften des Rotliegenden und der vulkanischen Gesteine fließt das Niederschlagswasser verhältnismäßig schnell ab. Die Folge sind zum

einen steile Hochwasserspitzen und zum anderen geringe Niedrigwasserabflüsse im hydrologischen Sommerhalbjahr (vgl. GfL 1998, 99).

Im Gegensatz dazu wirkt der Buntsandstein der Landstuhler Senke durch seine guten Versickerungseigenschaften stark abflußdämpfend. Auf diese Weise führt der Glan, obwohl sein Einzugsgebiet fast genauso groß ist wie das der Nahe, nur etwa die halbe Abflußfracht der Nahe (ebd.). Des weiteren wird der Abfluß bei Trockenheit hier stärker aus dem Grundwasser gespeist als in den Bereichen des Rotliegenden, so daß eine ausreichende und gleichmäßige Wasserführung im allgemeinen gewährleistet ist.

Wichtigster Zufluß des Glans ist die Lauter, die 4 km südwestlich von Kaiserslautern im Hungerbrunnental etwa 260 m über Meeresniveau entspringt. Die Lauter ist im Stadtgebiet von Kaiserslautern verrohrt und tritt erst wieder nach der nördlich gelegenen Kläranlage zu Tage. Anschließend verläuft sie auf 33 km in einem engen und weitgehend verbauten Tal bis sie bei Lauterecken in den Glan mündet. Durch die Enge und die starke Beanspruchung durch Siedlungs- und Verkehrsflächen bestehen nur wenige Retentionsräume. In Verbindung mit dem beträchtlichen Wasseraufkommen kommt es dadurch trotz der 100 m Gefälle bis zu seiner Mündung in den Glan zu einer Hochwassergefährdung (vgl. MfLWU 1976, 15). Neben der Nutzung als Vorfluter wird die Lauter zur Trinkwasserförderung, genutzt (vgl. BAUER 1999, 13). An zahlreichen Gewässerufeln und in den Überschwemmungsbereichen kommt es zusätzlich durch Ackerbau zu Beeinträchtigungen des Gewässersystems in Form von Nährstoff- und Erosionseinträgen sowie durch Eintrag anderer Agrochemikalien.

Abflußverhalten

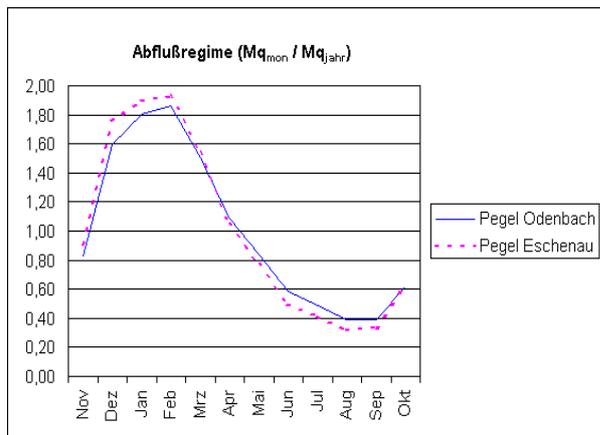
Um den Abfluß des Glan erfassen zu können, wurde auf *Daten des Pegels Odenbach* (LfW) und auf das *Deutsche Gewässerkundliche Jahrbuch* (1997) zurückgegriffen.

Die zwei wichtigsten Pegel des Glan befinden sich in Eschenau und Odenbach. Der Pegel Eschenau liegt mit einem Einzugsgebiet von 586 km² etwa in der Mitte zwischen den Quellregionen des Glan und dem Pegel Odenbach (1087 km²). Damit liegt er noch vor der Mündung der Lauter in den Glan. Der mittlere Abfluß am Pegel Odenbach beträgt für die Jahre 1973 – 1997 9.87 m³/s, wobei das größte Hochwasser in diesem Zeitraum am 21.12.1993 mit 255 m³/s gemessen wurde (DEUTSCHES GEWÄSSERKUNDLICHES JAHRBUCH 1997).

Die Pegel zeigen mit dem Unterschied der Abflußmenge beide ein ähnliches Abflußverhalten, was bei der Betrachtung der Abflußregime von 1973 – 1997 deutlich wird. Dabei stellt das Abflußregime die mittleren monatlichen Abflußkoeffizienten dar, d.h. die Quotienten aus dem mittleren Monatsabfluß und dem mittleren Jahresabfluß für einen 25-jährigen Zeitraum.

Abflußregime für die Jahre 1973-1997

(Datengrundlage: Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch 1997)



Odenbach $A_{eo} = 1\,087\text{ km}^2$

NQ 1.31 m³/s am 19.09.1973

MNQ 2.37 m³/s

MQ 9.87 m³/s

MHQ 123 m³/s

HQ 255 m³/s am 21.12.1993

Eschenau $A_{eo} = 586\text{ km}^2$

NQ 0.3 m³/s am 10.07.1976

MNQ 0.982 m³/s

MQ 5.84 m³/s

MHQ 80.4 m³/s

HQ 197 m³/s am 21.12.1993

Abbildung 1-14: Abflußregime Pegel Odenbach und Pegel Eschenau (Datengrundlage: Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz)

Das Abflußregime ($MQ_{\text{mon}}/MQ_{\text{jahr}}$) beider Pegel kann im Grunde mit einer Sinuskurve beschrieben werden, deren Maximum im Februar und deren Minimum im August liegt. Die Abflußspitze im Februar mit einem Abflußregime von 1.93 in Eschenau und 1.86 in Odenbach deutet dabei auf einen eher geringen Einfluß der Schneeschmelze hin, der nur in höheren Lagen vorliegen dürfte.

Setzt man das Abflußregime in Beziehung zum Niederschlag bzw. zur Verdunstung, stellt man fest, daß im Winter (bei einem Niederschlagsmaximum und einer verminderten Verdunstung) ein verstärkter Abfluß erfolgt. Im Gegensatz dazu wirkt sich das sommerliche Niederschlagsmaximum beim Abfluß nicht derart stark aus. Dies liegt unter anderem an der temperaturbedingt erhöhten Evapotranspiration, insbesondere an der durch die einsetzende Wachstumsperiode verstärkten Transpiration der Pflanzen. Kleinere Unterschiede im Jahresgang werden beim Abflußregime über die Jahre geglättet.

Bei einem Vergleich der beiden Abflußregime wird deutlich, daß die Kurve des Pegels Eschenau bei ansonsten gleichem Verlauf extremer ausfällt als die des Pegels Odenbach. Eine Ursache könnte hier im Relief liegen, so daß zum einen in den steileren und höhergelegenen Bereichen der Quellregionen der Einfluß der Schneeschmelze deutlicher zu Tage tritt. Zum anderen führt der dort dominierende Wald im Sommer zu einer erhöhten Verdunstung.

Außerdem kann die Verdunstung durch die verstärkten Versiegelung und die Kanalisation in der Stadt Kaiserslautern nicht ihren vollen Einfluß entfalten. Auf diese Weise beinhaltet die Lauter neben den gereinigten Abwässern der Kläranlage Kaiserslautern einen verstärkten Sommerabfluß.

1.4.6 Vegetation

Rheinland-Pfalz und Saarland gelten im allgemeinen mit 37 % Waldanteil als eher waldreiche Bundesländer. Hauptsächlich handelt es sich dabei um Wirtschaftswald, der zu 56 % aus Nadelwald, vor allem Hochwald, besteht (vgl. FISCHER 1989, 97).

Im Saar-Nahe-Bergland kommen aufgrund der standörtlichen Voraussetzungen natürlicherweise Eichen-Hainbuchenwälder, in höheren Lagen Rotbuchenwälder vor. Auf sauren Böden trifft man ursprünglich auf dichten Eichen-Birkenwald und in der Landstuhler Senke auf eutrophe Erlenbrüche und Übergangsmoore. Bei stärkerer Vernässung kommt es zu Eschen-Erlen-Quellwäldern (ebd.).

Heutzutage treten auf basisch reagierenden Böden Perlgras-Buchenwälder mit Buschwindröschen (*Anemone nemorosa*) und Waldmeister (*Galium odorata*) auf, während man auf sauren Böden eher auf artenarme Eichen-Birkenwälder mit Heidewaldgesellschaften trifft. Auf Braunerden kommen noch kleine Reste des Eichen-Hainbuchenwaldes mit der Großen Sternmiere (*Stellaria holostea*) und dem Hain-Wachtelweizen (*Melampyrum nemorosum*) als Bodendecker vor (vgl. FISCHER 1989, 97).

Im Pfälzer Wald sind heute noch Reste des natürlichen Eichenmischwaldes vorhanden, während ansonsten das *Melampyro-Fagetum*, eine artenarme, bodensaure Eichen-Buchenwaldgesellschaft mit Wachtelweizen, vorkommt. Ferner treten im Übergang zwischen colliner Eichenstufe und submariner Buchenstufe alle Charakterarten des Eichen- (*Quercion*) und Buchenverbandes (*Fagion*) auf (ebd.).

Forstwirtschaftliche Eingriffe haben dafür gesorgt, daß inzwischen auf schattigen Unterhängen oftmals Fichten (*Picea abies*), auf Sonnenlagen Kiefern (*Pinus sylvestris*) mit beigemischten Buchen (*Fagus sylvatica*), im allgemeinen auch oft Europäische Lärchen (*Larix occidentalis*) oder Douglasien (*Pseudotsuga menziesii*) vorkommen. In den größeren und wasserreichen Tälern kam es nach der Umwandlung großer Gebiete von Schwarzerlenauen (*Alnus glutinosa*) zu Mahdwiesen zu feuchten Glatthaferwiesen (*Arrhenatheretum alopecuretosum*). Nach der erneuten Aufgabe der Bewirtschaftung kam es in der Regel wieder zu einer Versumpfung des Geländes, so daß sich Sumpfweidenröschen (*Epilobium palustre*), Mädesüß (*Filipendula ulmaria*), Faulbaum (*Frangula alnus*) und Grauweide (*Salix cinerea*) ausbreiten konnten (vgl. FISCHER 1989, 97).

1.4.7 Landnutzung

In dieser Arbeit geht es in erster Linie um die Untersuchung des Einflusses der Landnutzung auf Grundwasserneubildung und Verdunstung. Die Landnutzung des Untersuchungsgebietes ist daher eine wichtige Grundlage, auf der die Szenarien erstellt werden sollen (vgl. Kap. 5).

Um einen umfassenden Überblick über die Landnutzung und deren Entwicklung der letzten Jahrzehnte (vgl. Kap. 4.2) zu erhalten, wurden verschiedene Quellen ausgewertet. Dafür standen sowohl digitale als auch analoge Daten zur Verfügung.

Neben den vorliegenden Berichten der Landesregierung und der Planungen der Region wurden auch Landnutzungserhebungen des Statistischen Landesamtes Rheinland-Pfalz (SLA) hinzugezogen. Diese *Flächenerhebungen* verschiedener Jahre sind nur auf Landkreise bezogen und können daher nur für einen allgemeinen Überblick über das Gebiet und die historischen Entwicklungen der Landnutzung und der Landwirtschaft dienen.

Grundlage für die Modellierung der Landnutzungsszenarien im Modell LADEMO stellen die digitalen „Daten zur Bodenbedeckung“ des Statistischen Bundesamtes dar. Die lagegenaue *CORINE-Landnutzungskartierung* liegt in Vektorform und etwa im Maßstab 1 : 100 000 vor und wurde aus Satellitenbilddaten von 1989 – 1992 gewonnen. Die Daten wurden für die Weiterverwendung in den Modellen LADEMO und TRAIN am Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) in ein 500 m – Raster umgewandelt (vgl. Kap. 6).

Bei den Datenquellen ist zu beachten, daß sich diese auf unterschiedliche Jahre oder Gebietsausschnitte beziehen. Dadurch kommt es zu Unterschieden in der Landnutzungsverteilung. So kommt es zum einen zu Abweichungen, wenn man bei der CORINE-Landnutzungskartierung das Einzugsgebiet mit den Landnutzungsangaben der Landkreise vergleicht (vgl. Tabelle 1-2). Hier spielen vor allem die walddreichen Gebiete südöstlich von Kaiserslautern eine Rolle, die im Einzugsgebiet nicht mehr erfaßt sind (Kreise: 41.84 % ⇔ Einzugsgebiet: 34.28 %). Im Gegenzug sind die Flächenanteile des Grünlands und der Landwirtschaft im Einzugsgebiet stärker vertreten (Kreise: 50.56 % ⇔ Einzugsgebiet: 58.38 %). Ansonsten ergibt sich jedoch ein relativ einheitliches Bild von etwa 6.5 % Siedlung.

Tabelle 1-2: Vergleich der Landnutzungsverteilung in CORINE: bearbeitete Landkreise und Einzugsgebiet des Glan

Landnutzung CORINE	bearbeitete Landkreise [%]	Einzugsgebiet des Glan [%]
Siedlung / Urban Land (Siedlung, Industrie und Gewerbe, Städtische Grünflächen, Sport- und Freizeitanlagen)	6.62	6.42
Verkehrsflächen / Traffic (Straßen, Flughäfen)	0.75	0.67
Landwirtschaft / Agriculture (Ackerland, Weinbauflächen, Obstplantagen, Komplexe Parzellenstruktur)	33.69	38.66
Grünland / Grassland (Wiesen und Weiden, Landwirtschaft/Naturnahe Flächen)	16.87	19.72
Laubwald	10.81	13.31
Nadelwald	8.01	7.10
Mischwald (Wald-Strauch-Übergangsgesellschaft)	23.02	13.87
Gewässer / Open Water (& Sümpfe)	0.05	0.06
Abbauflächen / Bare Surfaces	0.17	0.18

Wie aus Tabelle 1-3 jedoch ersichtlich ist, ergeben sich bei der Betrachtung der verschiedenen Quellen Differenzen. Neben der unterschiedlichen Verteilung der Waldanteile weicht die Flächenerhebung von 1997 des Statistischen Landesamtes Rheinland-Pfalz besonders im Bereich der Verkehrsflächen von der CORINE-Landnutzungskartierung ab. Auch die Einteilung zwischen Grünland und landwirtschaftlichen Nutzflächen scheint Schwierigkeiten zu bereiten. Im Gegensatz dazu gibt es eine deutliche Übereinstimmung bei einem Siedlungsanteil von etwa 6.5 %.

Tabelle 1-3: Vergleich der Landnutzungsverteilung der Landkreise: CORINE und Statistisches Landesamt RLP

Landnutzung bearbeitete Landkreise	CORINE [%]	SLA [%]
Siedlung / Urban Land (Siedlung, Industrie und Gewerbe, Städtische Grünflächen, Sport- und Freizeitanlagen)	6.62	6.35
Verkehrsflächen / Traffic (Straßen, Flughäfen)	0.75	5.48
Landwirtschaft / Agriculture (Ackerland, Weinbauflächen, Obstplantagen, Komplexe Parzellenstruktur)	33.69	24.00
Grünland / Grassland (Wiesen und Weiden, Landwirtschaft/Naturnahe Flächen)	16.87	21.58
Laubwald	10.81	5.65
Nadelwald	8.01	2.83
Mischwald (Wald-Strauch-Übergangsgesellschaft)	23.02	33.03
Gewässer / Open Water (& Sümpfe)	0.05	0.58
Abbauflächen / Bare Surfaces	0.17	0.27

Ursachen der unterschiedlichen Interpretation der Waldanteile sind in der Erfassungsmethode begründet. So stammen die Daten der CORINE-Landnutzungskartierung aus Satellitenbilddaten, die einheitlich interpretiert wurden. Schwierigkeiten bei dieser Methode und der relativ groben Auflösung bei einem Maßstab von etwa 1 : 100 000 bzw. der damit verbundenen groben Aufrasterung der Ausgangsdaten liegen auf der Hand.

Verkehrsflächen werden in der CORINE-Landnutzungskartierung erst ab einer Mindestbreite von 100 m erfaßt, während in der Flächenerhebung des Statistischen Landesamtes sämtliche normal breite Straßen und Wege erscheinen. Der dadurch entstehende Unterschied ist beträchtlich: CORINE: 0.75 % ⇔ Flächenerhebung: 5.48 %.

Schwieriger ist die Ursache der unterschiedlichen Flächenanteile zwischen Grünland und agrarischer Nutzfläche zu beschreiben. Sie scheint darin begründet zu sein, daß in der CORINE-Landnutzungskartierung auflösungsbedingt verschiedene Mischformen der landwirtschaftlichen Nutzfläche zugeschlagen werden, während in der Flächenerhebung des Statistischen Landesamtes hektarweise zugeordnet wird (vgl. Anhang 1-1).

Der Nutzungsartenkatalog der Flächenerhebung von Rheinland-Pfalz wurde aus dem Nutzungsartenverzeichnis der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Bun-

desländer (AdV) entwickelt. Dieser Katalog beinhaltet dreistellig verschlüsselte Nutzungsarten und ist damit und durch die hektarweise Zuordnung der Flächen um einiges detaillierter als es für das Einlesen in LADEMO und TRAIN notwendig und für die Maßstabebene sinnvoll ist. Eine Zuordnung zu den Klassen, die im Rahmen dieser Arbeit für die Modelle LADEMO und TRAIN gebildet wurden, ist dementsprechend eindeutig. Zu erwähnen ist die Einordnung der Schutz- und Übungsflächen beim Grünland und der historischen Anlagen bei den städtischen Flächen. Grundlage hierfür war das wahrscheinlichste Verhalten der Flächen bezüglich der Grundwasserneubildung und der Verdunstung.

Siedlungen im Einzugsgebiet kommen in erster Linie an Verkehrsknotenpunkten wie an Hauptverkehrsstraßen und in der Talsohle von Flüssen vor. Betrachtet man die einzelnen Landkreise genauer, so stellt man bezüglich des Siedlungsanteils deutliche Unterschiede fest. So ist dieser in der kreisfreien Stadt Kaiserslautern merklich erhöht, während im Gegenzug die Anteile der landwirtschaftlichen Nutzfläche und des Grünlandes deutlich verringert sind. Die verschiedenen Anteile an der Landnutzungsverteilung der einzelnen Landkreise gehen aus Abbildung 1-15 hervor.

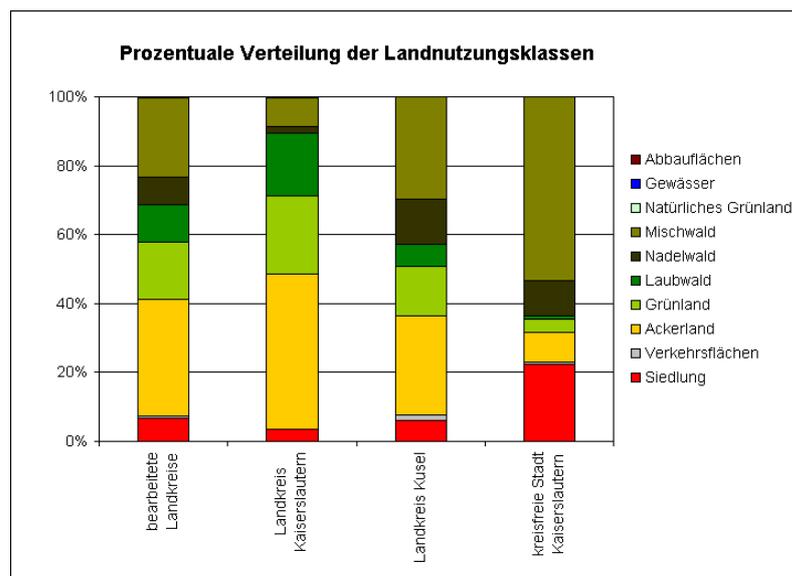


Abbildung 1-15: Prozentuale Landnutzungsverteilung der einzelnen Landkreise
(Datengrundlage: CORINE-Landnutzungskartierung)

Bemerkenswert ist der auffallend hohe Waldanteil im Gebiet der kreisfreien Stadt Kaiserslautern von 62,13 % der Fläche (SLA 1997). Dieser befindet sich vor allem im Süden und Westen der Stadt und gehört bereits zum Pfälzer Wald. Es handelt sich hauptsächlich um mittlere Besitzgrößen zwischen 100 und 1 000 ha (vgl. FISCHER 1989, 159). Durch die hohe Nachfrage nach Nadelstammholz kommt es in Rheinland-Pfalz vor allem zu laubbaumreichen Fichten-, Tannen- und Douglasienbeständen (vgl. MIS 1998, 136). An ertragsarmen Standorten entstanden bislang 44 Naturwaldreservate (ebd. 135).

Im Gegensatz zu Kaiserslautern findet man im Landkreis Kusel neben einem geringer ausfallenden Siedlungsanteil auch wesentlich weniger Wald (28.66 %; ebd.). Dementsprechend liegt hier ein höherer Anteil an landwirtschaftlicher Nutzfläche bzw. Grünland vor. Auch *Erlebnissräume für die landschaftsgebundene stille Erholung* liegen hier besonders ausgeprägt vor wie beispielsweise das relativ unberührte Gebiet nordwestlich von Lauterecken (vgl. GfL 1998, 176). Das Gebiet ist aufgrund seiner kleinstrukturellen Nutzungsverhältnisse und der großräumigen Verbindung zum Truppenübungsplatz Baumholder ökologisch besonders wertvoll und daher zu einem landesweit bedeutsamen Kernraum für den Arten- und Biotopschutz ernannt worden (ebd.).

Der Landkreis Kaiserslautern liegt sowohl räumlich als auch von den Flächenanteilen zwischen diesen beiden Landkreisen.

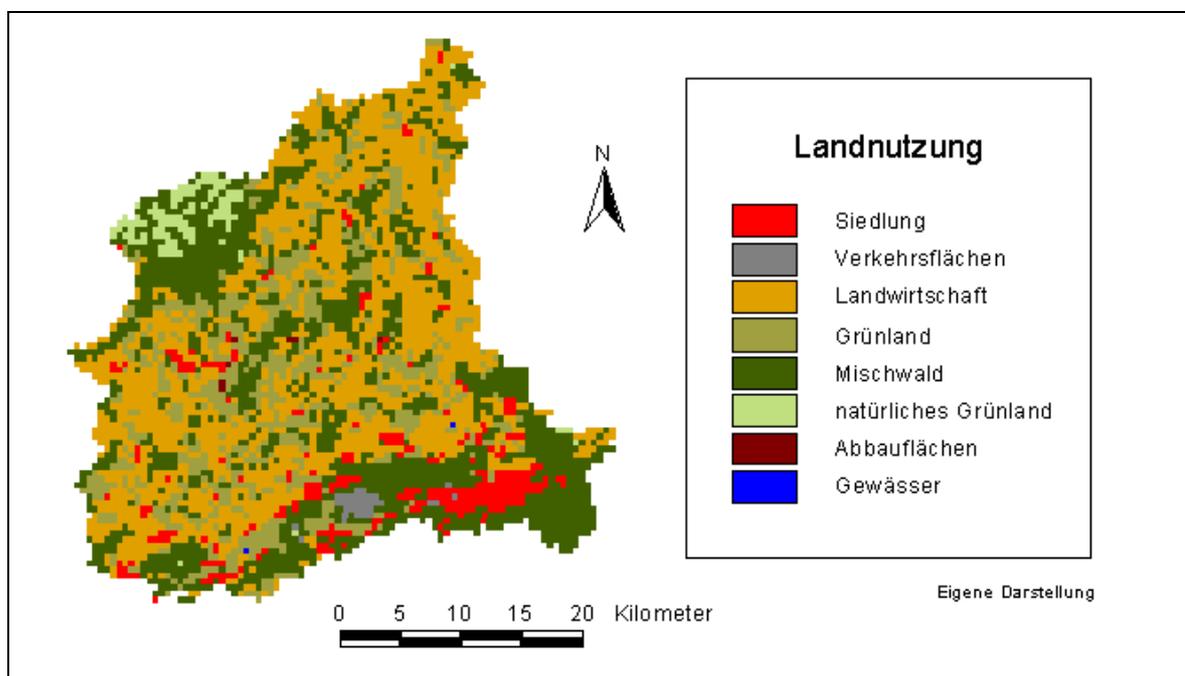


Abbildung 1-16: Die aggregierte Landnutzung im Einzugsgebiet des Glan (Datengrundlage: CORINE-Landnutzungskartierung)

Insgesamt kann man im Einzugsgebiet des Glan einen klaren Zusammenhang zwischen Relief und Landnutzung erkennen (vgl. Abbildung 1-3 u. 1-16). Aufgrund des Gefälles und der flachgründigen Böden bieten vor allem die höheren und unwegsameren sowie die Steilhängen für Ackerbau meist ungünstige Bedingungen. Hier ist der Waldanteil merklich höher. In den Übergangsbereichen der Hochflächen zu den Steilhängen der Täler bzw. an den Ortsrändern findet man vor allem Grünlandnutzung, aber oft auch Streuobstnutzung, extensives Grünland, Brachflächen oder Krautfluren (vgl. GfL 1998, 179).

In den tieferen und klimatisch günstigeren Lagen wie den Auen kommt es dagegen zu intensiver Landwirtschaft. Die Böden zeichnen sich hier durch „höchste Bonität“ aus, so daß diese Standorte bei den sonst eher ungünstigen Bedingungen von höchster Bedeutung

sind (vgl. GfL 1998, 179). Die Gewässernähe des Ackerbaus wirkt sich allerdings negativ auf die Gewässerqualität aus, so daß es zu Konflikten mit dem Gewässerschutz kommt. In der *Aktion Blau* versucht man dem Problem mit Förderprogrammen wie dem Gewässerstrandstreifenprogramm oder einem Programm zur Förderung der Umwandlung von Acker zu Grünland zu begegnen (vgl. Kap. 3). Besonders wenn die Aue für Ackerbau sehr nasse oder steinige Böden liefert, kommt es zu einer solchen Umwandlung.

In der Landstuhler Senke sind die Bedingungen im allgemeinen sehr naß und frostgefährdet (vgl. Kap. 1.4.3), so daß deren Nutzung vor allem in Grünland und Wald besteht (vgl. MfUF/ LfUG 1997, 12).

Das Nordpfälzer Bergland ist in erster Linie Agrarland, in zweiter Linie erst gibt es Industriezweige wie Holzverarbeitung, Textilbetriebe und noch etwas Hartsteingewinnung und –verarbeitung. Industrieansiedlungen bleiben in der Regel Einzelstandorte, wenn nicht eine besonders verkehrsgünstige Lage lokale Agglomerationen gefördert hat wie zum Beispiel im Raum Kaiserslautern. Hier überwiegt vor allem die Verarbeitungsindustrie und die Forstwirtschaft mit der Holzverarbeitung gegenüber der Landwirtschaft.

Der Bergbau ist in Rheinland-Pfalz seit Jahrzehnten erloschen, was zum einen an der Verkehrslage, aber auch an der schlechteren Qualität bzw. der starken Konkurrenz lag. Früher wurden vor allem Eisenerze, Steinkohle (bei Kusel) und Quecksilber abgebaut (vgl. FISCHER 1989, 166). Die weit verbreiteten Halden der kupfer-, blei-, zink-, quecksilber-, arsen- und cadmiumhaltigen Erze sorgten für erhebliche Boden- und Gewässerbelastungen, die zum Teil auch heutige Wohngebiete sowie landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzte Flächen betreffen (vgl. MIS 1998, 183). Nach dem Raumordnungsbericht 1998 geht davon aber keine konkrete Gefährdung für die Bevölkerung aus. Dennoch ist aus Vorsorgegründen kein Verzehr von Nutzpflanzen, Lebensmitteln und Pilzen von Flächen, die im Altlastenkataster geführt sind, erlaubt (ebd.).

Die Westpfalz besitzt auch heute noch wertvolle Hartstein-, Sand- und Tonvorräte, die allerdings bei sparsamer Verwendung maximal 30 Jahre ausreichen (vgl. PGW 1990, 76; zit. nach MfWV 1982, 13f.). Hartsteine kommen dabei vor allem im Landkreis Kusel und Sande im Landkreis Kaiserslautern vor. Heute werden nur noch Steine und Erden in kleinen Betrieben und mit geringem Umsatz abgebaut. Im Saar-Nahe-Bergland sind dies vor allem Basalt-, Gneis-, Kalk- und Porphyritsteinbrüche (vgl. FISCHER 1989, 166), die flächenmäßig kaum eine Rolle spielen.

Landwirtschaft

Landwirtschaftliche Flächen haben je nach Anbauart, Boden und Bodenbearbeitung einen entscheidenden Einfluß auf die Verdunstung und damit auf die Grundwasserneubildung. Deutlich wird dies nicht nur bei der Betrachtung der unterschiedlichen Vegetationsperioden oder der phänologischen Unterschiede, sondern auch bei den diversen Ansprüchen an

das Wasserdargebot. Es ist daher wichtig, einen genaueren Blick auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen zu werfen.

Im Regionalen Raumordnungsplan Westpfalz 1989 (PGW 1990, 35) sind drei Eignungsstufen (I-III) bezüglich der landwirtschaftlichen Eignung ausgewiesen. Die Einteilung umfaßt *Flächen mit günstigen, mittleren und ungünstigen Ertragsbedingungen*. Im Einzugsgebiet des Glan kommen dabei hauptsächlich Flächen mit mittleren Ertragsbedingungen vor. Flächen mit ungünstigen Ertragsbedingungen weisen meist ein starkes Gefälle auf, so daß die steileren von ihnen meist in Waldflächen umgewandelt wurden. Günstige Bedingungen werden im Untersuchungsgebiet nur in einzelnen Bereichen erreicht. In der Westpfalz ist daher insgesamt mit eher weniger günstigen Standortbedingungen zu rechnen (ebd.).

Bis zu 50 % der Fläche im Einzugsgebiet des Glan gehören einer Darstellung im Raumordnungsbericht 1998 (vgl. MIS 1998, Karte 3.5.a) zufolge zu den *Gemeinden mit besonderer Bedeutung der Landwirtschaft*. Ohne Bedeutung scheinen demnach die Landstuhler Senke sowie die Bereiche um Weilerbach, Kusel, Altenglan und Wolfstein zu sein. In der kreisfreien Stadt Kaiserslautern wird einzelnen Ortsteilen eine Relevanz für die Landwirtschaft beigemessen. Demgegenüber besitzen die Bereiche um Lauterecken, Otterbach und vor allem Glan-Münchweiler entsprechende Bedeutung für die Landwirtschaft.

Die landwirtschaftliche Nutzfläche der bearbeiteten Landkreise teilt sich in etwa 42 % Grünland und 58 % Ackerbau auf. Dies geht aus den Bodennutzungshaupterhebung des Statistischen Landesamtes Rheinland-Pfalz von 1995 hervor. In der kreisfreien Stadt Kaiserslautern ist dabei die Grünlandfläche mit ca. 22 % kleiner als in den Landkreisen Kaiserslautern und Kusel, was an dem verhältnismäßig hohen Anteil an Siedlungs- und Waldfläche (Pfälzer Wald) liegt.

Nach dem Regierungsbericht des Landtags Rheinland-Pfalz (1998, 17) beinhaltet das Einzugsgebiet des Glan vor allem *Standorte mit überwiegend Futterbau*, was einem Grünlandanteil zwischen 50 und 100 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche entsprechen würde. Aus den Statistiken des Statistischen Landesamtes kann man dies nicht ohne weiteres erkennen (s.o.). In der Agrarstrukturellen Entwicklungsplanung Lauterecken (GfL 1998, 12) wird die Landschaft als abwechslungsreich in Grünland, Ackerflächen und Wald gegliedert beschrieben.

Insgesamt teilt sich das Grünland zur Hälfte in Wiesen und zur anderen Hälfte in Weiden auf. Grünland dient in der Regel der Versorgung der Viehzucht mit Weidefläche und Grünfütter. Förderprogramme für tierische Produkte oder zur Umwandlung von Acker- in Grünlandflächen können so Einfluß auf die Landnutzungsverteilung nehmen (vgl. Kap. 3). Allerdings ist zu beachten, daß in der Regel keine Rückumwandlung in Ackerflächen mehr

erfolgt. Dies liegt vor allem an erhöhten Kosten bzw. verringerten Erträgen und Gewinnen, die durch die veränderte Bodenstruktur verursacht werden.

Bei den ackerbaulich genutzten Flächen ist die Aufteilung durch die Vielfalt der Anbauarten komplexer. Man trifft in erster Linie auf Getreideanbau (36.30 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche), da Getreide im Verhältnis zu den anderen Bundesländern in Rheinland-Pfalz billiger zu produzieren ist (vgl. LANDTAG RLP 1998, 74). Dabei wird vor allem Gerste angebaut. Daneben findet man Ackerfutterpflanzen, Raps und Hackfrüchte, wobei sich die Ackerfutterpflanzen in Futtermais und Gras-/Kleeanbau und die Hackfrüchte vor allem in Kartoffeln und Rüben aufteilen. Bei der kreisfreien Stadt Kaiserslautern fällt auf, daß im Gegenzug zu den verringerten Grünlandflächen die Anteile der ackerbaulichen Anbaufrüchte (mit Ausnahme der Ackerfutterpflanzen) merklich erhöht sind. Zu den sonstigen Kulturen gehören unter anderem Sonderkulturen wie Obstplantagen, Weinanbau und Baumschulen. Im Einzugsgebiet des Glan spielt jedoch der in Rheinland-Pfalz sonst weitverbreitete Wein- oder Obstkulturenanbau so gut wie keine Rolle.

In den letzten Jahren fand durch den hohen Anteil an ungünstig strukturierten und unwirtschaftlichen Kleinbetrieben eine gewisse Extensivierung statt (vgl. Kap. 4). Förderprogramme und Vorgaben durch die EU-Agrarpolitik sorgen für eine Verstärkung der Extensivierung und Flächenstillegung von ackerbaulich genutzten Flächen (vgl. Kap. 3). Im Raum der Agrarstrukturellen Entwicklungsplanung Lauterecken galten 1998 durchschnittlich 11 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche als stillgelegt (vgl. GfL 1998, 38). Für diese Arbeit haben diese Flächen nur dann eine Bedeutung, wenn sie einer dauernden Veränderung unterliegen, da die Berechnung der Grundwasserneubildung und der Verdunstung im Modell TRAIN für einen Zeitraum von 30 Jahren erfolgt (vgl. Kap. 6.3).

1.5 Sozio-ökonomische Grundlagen

Die sozio-ökonomischen Verhältnisse in einem Gebiet liefern in der Regel die Grundlage für anthropogen bedingte Landnutzungsänderungen. Sie stellen daher für die Arbeit einen wichtigen Einflußfaktor bei der Entwicklung von Landnutzungsszenarien dar.

1.5.1 Wirtschaftliche Bedeutung

Gebietstypen

Das Einzugsgebiet des Glan wird nach FISCHER (1989, 203) strukturell in zwei Klassen unterteilt. Zum einen gibt es die *zurückgebliebenen Gebiete mit schwachen Entwicklungstendenzen* wie den Kreis Kusel, zum anderen die *Gebiete mit durchschnittlichem Entwicklungsstand und positiver Entwicklungstendenz* wie den Landkreis Kaiserslautern. Ziel der Einteilung ist es dabei, besser auf die jeweiligen Gebietsansprüche eingehen zu können, zum Beispiel in Form von *Plänen zur Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur*. In diesem Sinne wird das Untersuchungsgebiet auch im Regierungsbericht des Landtags

Rheinland-Pfalz (1998, 19) aufgrund der vorliegenden natürlichen Standortvoraussetzungen zu den *benachteiligten Gebieten* (mit speziellen Förderungsmöglichkeiten) gezählt. Die Landstuhler Senke und Kaiserslautern sind erst bei der Erweiterung 1986 und 1989 zu *benachteiligten Gebieten* erklärt worden.

Raumstrukturtypen

Laut Regionalem Raumordnungsplan Westpfalz (PGW 1990, 3) ist die Region „als ländlicher Raum mit erwerbs- und infrastrukturellen Schwächen zu sehen“. Im Landesentwicklungsprogramm (LEP III 1995, 115ff) wurden die einzelnen Mittelbereiche von Rheinland-Pfalz drei sozio-ökonomischen Raumstrukturtypen zugeordnet. Sie unterscheiden sich hinsichtlich des Entwicklungspotentials und der –dynamik:

- *Raumtyp I: Mittelbereiche mit insgesamt günstiger wirtschaftlicher Struktur (Aktivräume)*
- *Raumtyp II: Mittelbereiche mit einzelnen wirtschaftlichen Strukturschwächen (Gestaltungsräume)*
- *Raumtyp III: Mittelbereiche mit erheblichen wirtschaftlichen Strukturschwächen (strukturschwache Räume)*

(LEP 1980, 115ff)

Das Einzugsgebiet des Glan gehört mit Ausnahme des Mittelbereichs Kaiserslautern zu den strukturschwachen Räumen (Raumtyp III). Die Mittelbereiche Kusel und Landstuhl besitzen dabei eine besonders ungünstige wirtschaftliche Struktur, was sich auch in den Bevölkerungs- und Arbeitsplatzentwicklungen zeigt (vgl. Kap. 1.5.2). In Kaiserslautern selbst hat sich durch seine Stellung als Oberzentrum eine bessere Wirtschaftsstruktur entwickelt, wodurch es dem Raumtyp II (Gestaltungsraum) zugeordnet werden kann. Zum Mittelbereich Kaiserslautern gehören außer der kreisfreien Stadt Kaiserslautern die Verbandsgemeinden Enkenbach-Alsenborn, Hochspeyer, Kaiserslautern-Süd, Otterbach, Otterberg und Weilerbach (vgl. PGW 1990, 3).

1.5.2 Bevölkerung

Trotz eines hohen Geburtenrückganges von – 8 % in der Westpfalz kommt es durch die Wanderungsgewinne von + 27,8 % zu einem Bevölkerungswachstum um etwa + 19 % (vgl. MIS 1998, 6). Dabei leben in Rheinland-Pfalz über 16 % der Bevölkerung in Großstädten, wobei die Bevölkerungsdichte sehr unterschiedlich ist. So kommen im Landkreis Kusel auf den Quadratkilometer zwischen 100 bis 175 Einwohner, während es in der kreisfreien Stadt Kaiserslautern zwischen 500 und 750 Einwohner sind (vgl. FISCHER 1989, 114f).

Inzwischen verschiebt sich die Bevölkerungsverteilung immer weiter in die Landkreise und in die nähere und fernere Umgebung der Großstädte. Im Fall des Einzugsgebietes des

Glan ist das die Umgebung von Kaiserslautern. Bei der Einteilung der *Typen ländlicher Räume* im Regierungsbericht des Landtags Rheinland-Pfalz (1998, 18) kann man diese Entwicklung gut nachvollziehen. So werden Kaiserslautern und die nördlich und westlich angrenzenden Gebiete als *verdichtete Räume* bezeichnet, während in nördlicher Richtung des Einzugsgebietes die Besiedlungsdichte stark abnimmt. Die Landstuhler Senke wird demnach bereits als *ländlicher Raum mit Verdichtungsansätzen*, Kusel und Umgebung als *dünn besiedelter ländlicher Raum* und der Bereich um Lauterecken als *dünn besiedelter ländlicher Raum in ungünstiger Lage* bezeichnet.

Die Folge daraus sind zum einen große Pendlerströme aus den Dörfern in die Stadt und umgekehrt. Besonders betroffen sind die *ländlichen Räume mit Verdichtungsansätzen* wie der Bereich um Landstuhl (vgl. MIS 1998, 6). Zum anderen entstehen immer mehr Neubausiedlungen in den Dörfern der Umgebung, d.h. es kommt zu einer weiteren Zersiedelung und Versiegelung der Landschaft, was sich wiederum auf den Wasserhaushalt auswirkt. Pendlerströme treten im allgemeinen dort auf, wo „aufgrund besonderer wirtschaftlicher Verhältnisse oder Produktionsmöglichkeiten ein Angebot an Arbeitsplätzen besteht, das aus dem Standort selbst nicht gedeckt werden kann“ (FISCHER 1989, 199). Im Falle von Kaiserslautern, das als Oberzentrum wichtige Funktionen erfüllt, sind dies 20 000 Pendler aus dem Nahbereich, die vor allem das industrielle Arbeitsplatzangebot und die Bildungseinrichtungen nutzen (ebd.). Die rückläufigen Arbeitsplatzzahlen im ländlichen Raum durch den landwirtschaftlichen Strukturwandel verstärken diesen Effekt. Zudem dient die Großstadt Kaiserslautern selbst mit über 100 000 Einwohnern sowohl als Eisenbahn- und Verkehrsknotenpunkt als auch als Zentrum von Kultur und Verwaltung. Insgesamt bedeutet dies, daß 60 – 70 % der arbeitenden Bevölkerung im Nordpfälzer Bergland als Pendler zu bezeichnen sind (vgl. FISCHER 1989, 180).

1.6 Zusammenfassung der Gebietsbeschreibung

Das Einzugsgebiet des Glan liegt im Mittelgebirge des Nordpfälzer Berglands in Rheinland-Pfalz. Aus dem Digitalen Höhenmodell geht hervor, daß sich das Flußnetz eindeutig in den tief eingeschnittenen Tälern widerspiegelt (vgl. Abbildung 1-3). Das Untersuchungsgebiet weist Höhenzonen auf, die für alle Landnutzungsformen geeignet scheinen, allerdings setzt das stellenweise starke Gefälle Grenzen. So herrscht vor allem in den schmalen Auen der Kerbtäler Ackerbau vor, während sich auf den Hochflächen eher Grünlandnutzung findet. Die steileren Hänge sind im allgemeinen aufgeforstet. Ursachen dafür sind zum einen die Erosionsgefährdung auf den Hängen, die schlechtere Bearbeitbarkeit und zum anderen die Bodenverhältnisse, die für eine ackerbauliche Nutzung oftmals ungünstig sind. Diesbezüglich sind sowohl Planungen als auch Förderprogramme für die weitere Entwicklung des Gebietes interessant (vgl. Kap. 2 u. 3).

Ferner läßt sich feststellen, daß das Gebiet klimatisch im ozeanischen Einflußbereich liegt. Daher lassen auch die Temperaturen und die Niederschläge alle Nutzungen zu. Dabei

steigen die Niederschläge im allgemeinen mit der Höhe und sinken mit der Entfernung zu den im Westen gelegenen Gebirgen des Hunsrücks.

Die Verteilung der naturräumlichen Gegebenheiten sorgt für eine unterschiedliche räumliche Verteilung der wirtschaftlichen Situation und damit der Bevölkerung. Letztere akkumuliert sich vor allem in der Nähe der Ballungsgebiete Kaiserslautern und der Militärbasis Ramstein-Miesenbach. Die Heterogenität in der Landbewirtschaftung ist eine Konsequenz aus den naturräumlichen und den sozio-ökonomischen Gegebenheiten des Untersuchungsgebietes. Sie sorgt für eine facettenreiche Verteilung der Verdunstung, da diese stark von der Landnutzung abhängig ist (vgl. Kap. 7).

Darüber hinaus kommt es zu einer Herauskristallisierung von verschiedenen agrarischen und strukturellen Gebietstypen mit jeweils spezifischen Entwicklungsproblemen und -chancen. Es ergeben sich für die einzelnen Gebietstypen unterschiedliche übergeordnete Raumordnungsziele und entsprechende umweltpolitische Nutzungsbeschränkungen und Fördermaßnahmen (vgl. Kap. 2 u. 3), die wiederum über den Einfluß auf die Landwirtschaft einen nicht unerheblichen Einfluß auf die Grundwasserneubildung und die Verdunstung haben (vgl. LANDTAG RLP 1998, 16).

2 Planerische Rahmenbedingungen

In Deutschland wird die Landnutzung zum einen durch Marktmechanismen und zum anderen durch politisch-administrative Maßnahmen gesteuert (BMELF 1996, 2). Letztere treten vor allem in den Bereichen Struktur- und Regionalpolitik, Umweltpolitik und Agrarpolitik zum Vorschein. Dabei findet in allen Bereichen, jedoch besonders im Agrarsektor, eine Beeinflussung durch die EU-Politik statt. Instrumente stellen zum Beispiel die verschiedenen Planungen und Förderprogramme dar. Diese dienen neben den bisherigen Entwicklungen und Tendenzen im Untersuchungsgebiet (vgl. Kap. 4.2) als Grundlage für die Landnutzungsszenarien, die im Kapitel 5 entwickelt werden.

Zunächst wird daher ein Überblick über die politischen Vorgaben durch die Europäische Union gegeben, bevor zu dem planerischen System und den berücksichtigten Planungen in Rheinland-Pfalz übergegangen wird. Dabei werden nur solche Planungen und Vorgaben beschrieben, die einen Bezug zur Fragestellung dieser Arbeit, also raumbedeutsame Auswirkungen, haben. In Rheinland-Pfalz erfolgt eine Unterteilung in raum- und landschaftsplanerische Programme sowie in die einzelnen Fachplanungen.

2.1 Politische Vorgaben durch die Europäische Union

Die Grundlage der Planungsaussagen in der Bundesrepublik Deutschland und in Rheinland-Pfalz ist in der Regel in den Leit- und Richtlinien der EU-Politik zu suchen. Der Einfluß der EU-Politik sowie der jeweiligen Richtlinien und Verordnungen auf eine potentielle Landnutzungsänderung einer bestimmten Region, hier das Einzugsgebiet des Glan, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht umfassend analysiert werden. Dennoch soll ein Überblick über die wichtigsten raumbedeutsamen Politikfelder der Agrar-, Struktur- und Wasserwirtschaftspolitik gegeben werden, da insbesondere im Agrarsektor der Einfluß auf betriebliche Entscheidungen z.B. über Förderprogramme enorm ist (vgl. Kap. 3).

2.1.1 EU-Agrarpolitik

Ausgangslage

Ursprünglich war die Gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Gemeinschaft (GAP) 1957 mit dem Ziel verabschiedet worden, den Mangel an Selbstversorgung mit zahlreichen landwirtschaftlichen Produkten zu bekämpfen. Im Vordergrund standen deren Sicherung durch eine Erhöhung der landwirtschaftlichen Produktivität, ein ausreichendes Einkommen der Landwirte und die Versorgung der Bevölkerung mit preislich angemessenen Produkten (vgl. ZIMMERMANN 1997, 5). Für die Umsetzung wurde eine gemeinsame Marktorganisation als markt- und preispolitisches System eingeführt, das eine Preisstützung in Form von Preisgarantien für inländische Produkte und im Gegenzug Zölle für Importe aus Drittländern darstellte. Dies führte zu einer Entkoppelung der landwirtschaftlichen Produktion von der Angebot-Nachfrage-Situation in der EU, so daß es ab 1982 zu Überschüssen kam (ebd.

6; Kap. 4). Diese konnten aufgrund niedriger Weltmarktpreise nur noch mit Hilfe von Subventionen der EU exportiert werden, was zur Folge hatte, daß die Kosten der Agrarausgaben immer weiter stiegen. Auch die eingeführte Stilllegungsprämie änderte nicht viel an der Situation, da vor allem ertragsschwache Standorte stillgelegt wurden.

Infolgedessen kam es zu einer Kurskorrektur im Rahmen der *EU-Agrarreform von 1992*. Ziele waren von nun an die Marktentlastung durch eine Politik der Produktionsbegrenzung sowie die Verringerung der Agrarausgaben. Vermeiden wollte man bei der Reform allerdings eine komplette Liberalisierung der Agrarmärkte, da dies kurzfristig zu einer Vielzahl an Betriebsaufgaben und mittelfristig zu einer Verminderung der Preisstabilität sowie einer wachsenden Abhängigkeit vom Weltmarkt geführt hätte (vgl. ZIMMERMANN 1997, 9).

Daher erfolgte zwar eine Abkehr von der bisherigen Marktpreisstützung, also eine erhebliche Reduzierung der Interventionspreise. Allerdings sollten die dadurch entstandenen Einkommensverluste der Landwirte durch direkte Einkommensbeihilfen in Form von flächen- bzw. tiergebundenen Ausgleichszahlungen ausgeglichen werden. Somit erfolgte im Grundsatz eine Trennung von Markt- und Einkommenspolitik (ebd. 10). Darüber hinaus sollte eine effektivere Steuerung der Produktionsmengen durch Maßnahmen wie die konjunkturelle Flächenstilllegung stattfinden (vgl. Kap. 3).

Insgesamt ist es auch heute noch das Ziel, eine flächendeckende Landbewirtschaftung zu erhalten. Um jedoch eine Überschußproduktion zu vermeiden bzw. diese zu verringern, ist eine Extensivierung der Produktion erforderlich (vgl. ZIMMERMANN 1997, 9).

Agenda 2000

Die sich weiter verändernden Rahmenbedingungen im ländlichen Raum sowie vor allem die weiterhin extrem hohen Ausgaben im Agrarsektor führten zu einer erneuten Reform. Im Rahmen der Agenda 2000, die als Aktionsprogramm am 26. März 1999 verabschiedet wurde, ist die beabsichtigte Entwicklung der Europäischen Union zwischen 2000 und 2006 sowie die Gestaltung ihrer Politik festgelegt. Sie umfaßt eine Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik, der Strukturpolitik (vgl. Kap. 2.1.2), den Finanzrahmen und das Programm für die Heranführung der mittel- und osteuropäischen Beitrittskandidaten an die Union (vgl. LANDTAG RLP 1999, 34). Im Rahmen dieser Arbeit soll nur auf die Gemeinsame Agrarpolitik und die Strukturpolitik (vgl. Kap. 2.1.2) eingegangen werden.

Durch die Agenda 2000 kommt es bei der Gemeinsamen Agrarpolitik zu einem weiteren Abbau der Preisstützungen bei wichtigen Produkten (Kulturpflanzen, Rindfleisch, Milch), so daß die landwirtschaftlichen Unternehmen stärker den Anforderungen regionaler, europäischer und weltweiter Märkte ausgesetzt sind. Die geringeren Erlöse durch die Annäherung an die Weltmarktpreise werden jedoch im Gegensatz zur Reform von 1992 nur teilweise durch direkte Prämienzahlungen ausgeglichen (vgl. MIS 1998, 132; LANDTAG RLP 1998, 141). Begründet wird dies mit verbesserten Absatzchancen auf dem Weltmarkt und

der Einrichtung von mehr nationalen Gestaltungsmöglichkeiten (ebd. 142). Des weiteren wird das Konzept der obligatorischen Flächenstilllegung weitergeführt (vgl. Kap. 3.1.2).

Bezüglich einer potentiellen Landnutzungsentwicklung ist festzustellen, daß die Stützung von einzelnen Kulturpflanzen oder Tierarten wiederum andere benachteiligt (z.B. die Schweinehaltung). Dies macht sich insofern bemerkbar, als daß sich sowohl der Anbau bzw. die Haltung der Arten dementsprechend verschieben kann als auch das Flächenverhältnis zwischen Ackerland und Grünland. Näheres zu den Stützungsregelungen und der Flächenstilllegung wird in Kapitel 3.1.2 erläutert.

2.1.2 EU-Politik zur Entwicklung des ländlichen Raumes

Im Rahmen der Agenda 2000 wird die ländliche Entwicklung zum zweiten wichtigen Pfeiler der Europäischen Gemeinschaft. Als Ergänzung zur bisherigen GAP stellt dies sicher, daß die Agrarausgaben beispielsweise stärker zur Raumentwicklung und zum Naturschutz beitragen (vgl. SCADPLUS 2000a, 2).

Die Leitlinie besteht in einer Dezentralisierung der Zuständigkeiten und in einer Verlagerung von Entscheidungen auf die lokale Ebene (Subsidiaritätsprinzip). Dies ermöglicht eine flexiblere Programmgestaltung. Die Entwicklungsschwerpunkte liegen zum einen in der Stärkung der Agrar- und Forstsektoren als Bestandteile der Entwicklung des ländlichen Raumes. Zum zweiten soll die Wettbewerbsfähigkeit der ländlichen Gebiete verbessert werden, indem unter anderem die Lebensqualität der ländlichen Gemeinschaften erhöht und neue Einkommensquellen für die Bevölkerung geschaffen werden. Zum dritten ist der Schutz der Umwelt und des ländlichen Kulturerbes eine Aufgabe, die z.B. durch Agrarumweltmaßnahmen erreicht werden soll (vgl. EUROPÄISCHE KOMMISSION 1999a, 7; SCADPLUS 2000a, 5).

Die Umsetzung der Politik zur Entwicklung des ländlichen Raumes bzw. der Strukturpolitik ist eng an das System der vorrangigen Ziele und der Gemeinschaftsinitiativen gebunden, welche in der Regel über Strukturfonds finanziert werden. Genauerer hierzu wird in Kapitel 3.1.1 erläutert.

2.1.3 EU-Wasserwirtschaftspolitik

Um die Defizite der bisherigen über 30 EU-Richtlinien, die den Wasserbereich direkt oder indirekt betrafen, in einem kohärenten europäischen Wasserrecht auszugleichen und die Richtlinien auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen, wurde am 14.09.2000 die neue *Wasserrahmenrichtlinie* der EU vom Europäischen Parlament beschlossen. Das Leitziel ist zum einen der Schutz und die Verbesserung der aquatischen Ökosysteme und zum anderen die Förderung einer nachhaltigen Nutzung der Wasserressourcen. So soll weiter eine stetige Verringerung der Gewässerverschmutzungen durch gefährliche Stoffe sowie der

ökologischen Auswirkungen von Hochwasser und Dürren erreicht werden (vgl. BUM 1999, 228).

Die Wasserrahmenrichtlinie bildet den Ordnungsrahmen für den Schutz der Binnenoberflächen-, der Übergangs- und der Küstengewässer sowie des Grundwassers. Sie umfaßt die *ökologische Qualität* der Oberflächengewässer, die sowohl chemisch-physikalische als auch hydromorphologische Aspekte beinhaltet, sowie die *Quantität* und den chemischen Zustand des Grundwassers (vgl. MARKARD/IRMER/RECHENBERG 1999, 33). Des weiteren enthält sie die Forderung nach einer Bewertung der Flußgebiete mittels biologischer und chemischer Parameter sowie nach einem Flußgebietsmanagement. Im Rahmen von integrierten Flußgebietsplänen gehört dazu unter anderem die Bewertung der Gewässerstrukturen im Hinblick auf den Referenzzustand der Gewässer sowie die Analyse und Klassifizierung der Flußgebiete. Über die Ableitung und Durchführung von Maßnahmenprogrammen soll dies zur Verbesserung des Gewässerzustandes führen (vgl. BUM 1999, 228).

Für diese Arbeit ist insbesondere die Aufstellung der integrierten Flußgebietspläne und deren Maßnahmenprogramme relevant. Dazu gehören neben der Beschreibung des Einzugsgebietes nach hydrologischen und naturräumlichen Gegebenheiten unter anderem die Erfassung der anthropogenen Einflüsse auf den Gewässerzustand. Hier wird nach Punktquellen, diffusen Quellen, Wasserentnahmen, Gewässer- und Strömungsregulierungen sowie der Landnutzung unterschieden (vgl. MARKARD/IRMER/RECHENBERG 1999, 34). Darüber hinaus beinhalten die Flußgebietspläne die Darstellung des ökologischen und chemischen Gewässer- bzw. des quantitativen Grundwasserzustandes. Das Maßnahmenprogramm dient neben der Zielerreichung insbesondere der Darstellung der Umsetzung. Es ist somit zum einen als zentrales Instrument des wasserwirtschaftlichen Handels und zum anderen als Bericht an die Europäische Kommission aufzufassen (vgl. BUM 1999, 229f).

In Rheinland-Pfalz wird mit der Aktion Blau bereits seit 1994 diese wasserwirtschaftliche Handlungsrichtung eingeschlagen (vgl. 55). Die gründliche Erfassung der unterschiedlichen Parameter in einem Flußgebiet (z.B. im Rahmen von Flußgebietsplänen) dient der besseren Abschätzung von Auswirkungen, die von verschiedenen anthropogen bedingten Maßnahmen und Zustandsänderungen wie z.B. einer Landnutzungsänderung ausgehen. Dies kann unter anderem im Rahmen von Wasserhaushaltsmodellen geschehen (vgl. Kap. 6).

2.2 Vorbemerkungen zur Planung in Rheinland-Pfalz

2.2.1 Das Planungssystem in Rheinland-Pfalz

Die Pläne der Raum- und Landschaftsplanung auf Landes- und regionaler Ebene bilden die behördenverbindliche Grundlage für Planungs- und Genehmigungsentscheidungen. Sie sind daher für die Entwicklung eines Gebietes maßgeblich. Planungsziele, die in einem kleinen Maßstab festgeschrieben werden, werden auf den unteren Ebenen in einem detail-

genaueren, größeren Maßstab konkretisiert. Dabei gilt das Subsidiaritätsprinzip, d.h. es werden möglichst dezentrale Entscheidungsstrukturen angestrebt, die aber den höher gesetzten Planungszielen nicht widersprechen dürfen.

In Rheinland-Pfalz bilden die Raum- und die Landschaftsplanung zumindest auf Landes- und regionaler Ebene keine getrennten Planungsbereiche. So gibt es weder ein Landschaftsprogramm noch einen Landschaftsrahmenplan. Statt dessen erfolgt die Berücksichtigung der Belange von Natur und Landschaft direkt im Landesentwicklungsprogramm (LEP)¹ bzw. im Regionalen Raumordnungsplan (RROP)². Letzterer erfüllt die Funktionen der Landschaftsrahmenplanung im Sinne des §5 BNatSchG (vgl. §16 Abs.1 LPflG Rheinland-Pfalz).

Neben der Raum- und Landschaftsplanung üben auch Fachplanungen wie eine Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung (AEP), die Planung vernetzter Biotopsysteme oder die Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung Einfluß auf die räumliche Entwicklung aus. Die Maßstäbe solcher Planungen sind sehr unterschiedlich und hängen vom Zuständigkeitsbereich der jeweiligen Behörde ab. Eine Rechts- und Behördenverbindlichkeit für die Behörden oder für Betroffene besteht bei den Fachplanungen jedoch nicht. Das bedeutet, daß weder eine Umsetzung erfolgen noch die Planung mit allen anderen Planungen abgestimmt sein muß. Dies führt dazu, daß sich verschiedene Fachplanungen widersprechen können. Zudem finden nicht alle für eine Entwicklung entscheidenden Belange genügend Berücksichtigung, so daß bei den Entscheidungsträgern eine Abwägung mit anderen Belangen ausfallen kann. Fachplanungen sind demnach als gutachterliche Stellungnahme zu verstehen. Sie dienen in der Regel als Grundlage bei der Berücksichtigung der Belange der Fachplanungen in die Raumplanung, aber auch als Entscheidungshilfe und Leitfaden für die jeweilige Behörde.

2.2.2 Übersicht über die berücksichtigten Planungen

Im Zusammenhang mit der Aufgabenstellung dieser Arbeit sind alle Planungen interessant, die über die flächenmäßige Landnutzungsverteilung und -entwicklung Einfluß auf die Grundwasserneubildung und die Verdunstung ausüben können. In erster Linie sind dies in Rheinland-Pfalz Raumordnungspläne wie der Regionale Raumordnungsplan Westpfalz. Pläne in anderen Maßstäben wie das Landesentwicklungsprogramm oder Flächennutzungspläne (FNP)³ sind für das gesamte Einzugsgebiet des Glan, welches 1 222 km² umfaßt, kaum sinnvoll. Das LEP schreibt die raumbedeutsamen Ziele von Rheinland-Pfalz fest, während der RROP die Ziele für die Region konkretisiert. Das LEP ist daher durch den kleinen Maßstab in seinen Aussagen für die Aufgabenstellung zu wenig konkret. Die FNPs sind im Gegensatz dazu zu detailliert. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn man die Auflösung der Grundlagendaten von 500 x 500 m betrachtet, die in die Modelle LADEMO und TRAIN eingehen (vgl. Kap. 6).

¹ Maßstab 1 : 500 000 bis 1 : 200 000

² Maßstab 1 : 50 000

Tabelle 2-1: Berücksichtigte Planungsgrundlagen

Planungsgrundlagen		Zuständigkeit
Raum- und Landschaftsplanung	Landesentwicklungsprogramm, III. Fortschreibung 1995	Ministerium des Innern und für Sport RLP
	Regionaler Raumordnungsplan 1989 Westpfalz bzw. Teilfortschreibung 1995	Planungsgemeinschaft Westpfalz
Fachplanungen	Planung Vernetzter Biotopsysteme Kusel (1995) bzw. Kaiserslautern (1997)	Ministerium für Umwelt und Forsten RLP; Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht RLP
	Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung Lauterecken 1998	Planungs- und Ingenieurgesellschaft GmbH
Sonstiges	Raumordnungsbericht 1998	Ministerium des Innern und für Sport RLP

In dieser Arbeit wird in erster Linie der Regionale Raumordnungsplan Westpfalz bzw. seine Teilfortschreibung berücksichtigt. Da das LEP die Grundlage darstellt, werden die Annahmen, die eine räumliche Entwicklung betreffen, kurz herausgearbeitet. Ferner werden die Aussagen, die im Raumordnungsbericht bezüglich der Entwicklung des Gebietes getroffen werden, einbezogen.

Darüber hinaus werden verschiedene Fachplanungen betrachtet. Dabei erfolgt eine begrenzte Berücksichtigung, da bei derartigen Planungen keine Behörden- und Rechtsverbindlichkeit besteht (vgl. Kap. 2.2.1). Weiter stellt das Untersuchungsgebiet der AEP Lauterecken nur einen Teilbereich des Einzugsgebietes des Glan dar, was eine zusätzliche Einschränkung bedeutet. Nach Aussage des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz wird mit dem Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Nahe von 1976 heute nicht mehr gearbeitet, da dessen Inhalte als veraltet gelten. Aus diesem Grunde wird er im Rahmen dieser Arbeit ebenfalls nicht berücksichtigt. Sämtliche Planungen werden im Hinblick auf die Aufgabenstellung dieser Arbeit ausgewertet.

2.3 Raum- und Landschaftsplanung in Rheinland-Pfalz

2.3.1 Das Landesentwicklungsprogramm (LEP)

Die dritte Fortschreibung des Landesentwicklungsprogrammes wurde 1995 von der Landesregierung Rheinland-Pfalz verabschiedet. Es stellt die Raumordnungsziele auf der Ebene von Rheinland-Pfalz dar und dient damit der Festschreibung der Aufgaben der räumlichen Gesamtplanung. Diese bestehen zum einen darin, „für den Erhalt der Biosphäre und der natürlichen Ressourcen Boden, Wasser und Luft Vorsorge zu treffen“ (MIS 1998, 20). Zum anderen soll es für raumrelevante Politikbereiche wie die Siedlungs- und Infra-

³ Maßstab 1 : 5 000 bis 1 : 10 000

strukturpolitik, die Verkehrspolitik und die Standortvorsorge raumordnerische Vorgaben setzen, die der Freiraumsicherung gerecht werden (ebd.).

Raumstrukturtypen

Im Landesentwicklungsprogramm werden die Mittelbereiche von Rheinland-Pfalz ökonomischen Raumstrukturtypen zugeordnet. Diese Einteilung wird als Basis für die raumordnerisch-politischen Ziele und Grundsätze verwendet. Die Zuweisung des Untersuchungsgebietes zu den Raumstrukturtypen wird im Kapitel 1 näher beschrieben.

Die vorwiegende Einordnung zu den strukturschwachen Räumen (Raumtyp III) sorgt für die Hauptaufgabe, die Region an den Entwicklungsstand der wirtschaftsstarke Teilräume heranzuführen. Dies geschieht durch Maßnahmen, die geeignet sind, die Arbeits- und Lebensbedingungen zu verbessern. Konkretisiert werden diese auf der Ebene des regionalen Raumordnungsplanes (vgl. Kap. 2.3.2). Das zentrale Förderinstrument ist die *Gemeinschaftsaufgabe zur Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur (GAW)* (vgl. Kap. 3).

Für den Mittelbereich Kaiserslautern mit seinen günstigen Entwicklungsansätzen soll die Zuordnung zum Gestaltungsraum (Raumtyp II) die Sicherung und den Ausbau seiner wirtschaftlichen und infrastrukturellen Leistungsfähigkeit insbesondere seiner Umweltbedingungen und seiner städtebaulichen Gliederung bewirken.

Ökologische Raumgliederung

In Ergänzung zu den Raumstrukturtypen, die eine wirtschaftliche Einteilung des Gebietes vornehmen, gibt es im Landesentwicklungsprogramm von Rheinland-Pfalz auch eine ökologische Raumgliederung. Dabei bilden die naturräumlichen Verhältnisse und die einwirkenden Nutzungen auf das Gebiet die Grundlage. Die ökologische Raumgliederung stellt die zusammengefaßte Umsetzung des *Leitbildes für den Ressourcenschutz* dar, wobei eine besondere Bedeutung für Grundwasser, Boden, Klima/Luft, Pflanzen und Tiere sowie für Erholungslandschaften festgeschrieben ist (LEP III 1995; 26). Sie macht Gebiete kenntlich, die aus ökologischer Sicht sicherungs-, sanierungs- und entwicklungsbedürftig sind. Ziel ist neben der räumlichen Bewertung bezüglich des Leitbildes eine quantitative Erhaltung von Freiflächen sowie eine qualitativ-funktionale Verbesserung bzw. Wiederherstellung ihrer Leistungsfähigkeit (MIS 1998, 21).

- Der *Sicherungsraum* umfaßt vorwiegend Kaiserslautern und zielt auf die Sicherung der natürlichen Ressourcen ab.
- Der größte Teil des Untersuchungsgebietes mit Ausnahme von Kaiserslautern und einem Bereich um Kusel ist als *Sanierungsraum* ausgewiesen. Ziel ist es hier, bestehende wie auch voraussehbare Konflikte, Beeinträchtigungen und Risiken abzubauen und die natürlichen Ressourcen wiederherzustellen bzw. zu verbessern. Dabei sind die Raumnutzungen an der Leistungsfähigkeit und Empfindlichkeit des Naturhaushaltes sowie der Landschaft als Erlebnisraum zu orientieren.

- Schließlich werden Kusel und Umgebung dem ökologischen *Entwicklungsraum* zugeordnet. Die Entwicklungsziele des Sanierungsraumes sind hier zusätzlich durch kurz- vor allem aber durch längerfristige Prozesse zu fördern und zu unterstützen. Die Leistungsfähigkeit der natürlichen Ressourcen ist allgemein zu verbessern.

2.3.2 Regionaler Raumordnungsplan Westpfalz 1989

Der regionale Raumordnungsplan wurde von der Planungsgemeinschaft Westpfalz entwickelt und 1989 genehmigt. Zur Zeit befindet er sich in Fortschreibung. Durch die veränderten politischen Rahmenbedingungen des vereinigten Deutschlands kam es zu einem massiven Truppenabbau durch die Alliierten, was durch freiwerdende Flächen einen räumlichen Planungsbedarf schuf. Zum anderen war die Region stark durch das Militär und durch die dadurch entstandenen wirtschaftlichen Verflechtungen geprägt, was infolge der Truppenreduzierung zu massiven wirtschaftlichen Einbrüchen geführt hat. Unabhängig davon ergaben sich auch in der Europäischen Union (EU) neue Rahmenbedingungen und somit auch die Fragestellung nach dem Umgang damit (vgl. Kap. 2.1). Der daraus entstandene Handlungsbedarf machte eine Teilfortschreibung des regionalen Raumordnungsplanes notwendig, so daß es 1995 zur Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsflächen für großflächige Gewerbe- und Industriegebiete kam (vgl. PGW 1995, 5).

Die abnehmenden Bevölkerungs- und Arbeitsplatzzahlen in der Region und das Erreichen der ökologischen Belastbarkeit von Natur und Landschaft führen zu dem Ziel des regionalen Raumordnungsplanes. Dieses besteht neben der Sicherung einer nachhaltigen und umweltgerechten Entwicklung demnach nicht im Ausbau der *zentralen Orte*, sondern in der Gewährleistung des Versorgungsstandards für die Bevölkerung. Dies soll durch an die Bevölkerungszahlen und -verteilung angepaßte Nutzungskonzepte erreicht werden (vgl. PGW 1990, 1).

Die Raum- und die Siedlungsstruktur sind neben den natürlichen Bedingungen stark von den wirtschaftlichen Aktivitäten im Raum abhängig. Sie sollen unter Nutzung des endogenen Potentials weiterentwickelt werden (vgl. PGW 1990, 1). Ziel der Regionalplanung ist neben der Sicherung der Wirtschaftsstruktur vor allem die Sicherung des Freiraumes. Insgesamt gilt als Prämisse, den bisher verschwenderischen Flächenverbrauch zu stoppen und räumlich-funktionale Voraussetzungen für eine langfristige Umorientierung zu schaffen. Bei der innerörtlichen Entwicklung bedeutet dies, daß Ausbau, Umbau, Modernisierung (Bestandspflege) sowie Wieder- und Mehrfachnutzung (Flächenrecycling) Vorrang vor dem Neubau haben sollen. Nichtsdestotrotz wird es auch weiterhin Flächen geben, die für Erweiterungen und Aussiedlungen der Gewerbe- und Industriebetriebe und deren Verkehrsverbindungen ausgewiesen werden (ebd.).

Zur Sicherung des Freiraumes bietet der regionale Raumordnungsplan Westpfalz mehrere Instrumentarien an, die aus dem LEP entnommen bzw. weiterentwickelt wurden. Dabei kann eine großräumige Freiraumsicherung über das *Prinzip der punkt-axialen Entwicklung*

oder über das *Prinzip der räumlich-funktionalen Arbeitsteilung* erfolgen. Kleinräumig gibt es zusätzlich die Möglichkeiten der Ausweisung von Vorrangflächen und von regionalen Grünzügen (s.u.).

Prinzip der punkt-axialen Entwicklung

Bei dem *Prinzip der punkt-axialen Entwicklung* geht es darum, siedlungsorientierte Nutzungsansprüche auf wenige Schwerpunkte und die sie verbindenden Bandinfrastrukturen zu beschränken. Weiterhin ist der Freiraum zwischen diesen Bereichen vor Besiedelung und Landschaftsverbrauch zu schützen. Ziel ist es zum einen, eine Konzentration des Entwicklungspotentials zu erreichen sowie den Leistungsaustausch zwischen den Räumen bzw. zwischen den zentralen Orten und ihren Verflechtungsbereichen zu fördern und zu stärken. Zum anderen soll aber auch eine großräumige Sicherung der zwischen den Achsen gelegenen Freiräume gewährleistet werden (PGW 1990, 27).

Exkurs: Infrastrukturelle Entwicklung

Für das Einzugsgebiet des Glan gibt es verschiedene bereichsspezifische Verkehrsplanungen (PGW 1990, 40f). Dabei gibt die Landesregierung im Raumordnungsbericht der Innenentwicklung Vorrang vor der Außenentwicklung (MIS 1998, 77).

Straßenplanung:

- Ausbau der A6 zwischen Kaiserslautern Ost und West
- Ausbau der L 363 zwischen Miesenbach und Landstuhl
- Bau vieler Ortsumgehungen entlang der B 270 und B 423

Eisenbahn:

- Erhalt aller Strecken für Personen- und/oder Güterverkehr
- Überprüfung der Möglichkeit einer Rückverlagerung des Personenverkehrs auf die Schiene (insbesondere zwischen Altenglan und Lauterecken)

Radwegenetz:

- Ausbau zu einem großräumigen und überregionalen Radwegenetz in den Flußtäälern bzw. auf den Höhenzügen
- Ausbau der regionalen Radwegeergänzungen

Für die Szenarioentwicklung spielen diese Planungen allerdings nur indirekt eine Rolle, da die einzelnen Maßnahmen eher kleinräumig sind und daher keinen großen Einfluß auf die Grundwasserneubildung und die Verdunstung haben. Indirekt haben infrastrukturelle Entwicklungen aber immer Einfluß auf die Siedlungs- und Gewerbeentwicklung, deren Einfluß auf den Wasserhaushalt wiederum wesentlich deutlicher ausfällt.

Prinzip der räumlich-funktionalen Arbeitsteilung

Bei dem *Prinzip der räumlich-funktionalen Arbeitsteilung* geht die Raumordnung davon aus, daß im Raum neben der punkt-axialen Entwicklung eine funktionale Arbeitsteilung vorhanden ist. Diese gilt es, in geordnete Bahnen zu lenken. Die Erfassung und Bewertung des regionalen Entwicklungsprozesses bzw. dessen räumliche Auswirkung bilden die Basis für das regionsspezifische Entwicklungskonzept. Es ist demnach eine Folge aus den Raumstrukturtypen und der ökologischen Raumgliederung im LEP. Der regionale Raumordnungsplan weist dabei den Gemeinden bestimmte Funktionen zu, wobei das Ziel ein ausgewogener wirtschaftsstruktureller Entwicklungs- und Differenzierungsprozeß ist. Zudem ist die Zuweisung der Funktionen eine Grundlage sowohl für Bauleit- und Fachplanungen als auch für finanz- und fördermittelgebende Institutionen sowie private Investoren (PGW 1990, 5). Die Funktionszuweisungen der Regionalplanung haben demnach für die Gemeinden großen Einfluß auf die zukünftige Landnutzungsentwicklung.

Die rahmensetzende Vorgabe der Funktionszuweisung bestimmt keine konkreten Flächen. Es wird vielmehr der gesamten Gemeinde eine Funktions- und Zweckbestimmung im Sinne einer entwicklungsplanerischen Leitidee zugewiesen, die der Gemeinde alle Möglichkeiten der Eigenentwicklung läßt.

Der regionale Raumordnungsplan Westpfalz 1989 hält folgende Funktionen zur Ausweisung vor:

Funktion W: *Gemeinde, die verstärkt die Funktion **Wohnen** entwickeln soll.*

Funktion G: *Gemeinde ist Standort von Arbeitsstätten des produzierendes **Gewerbes**; die Produktionsbedingungen sind zu sichern.*

Funktion G: *Gemeinde, in der das produzierende **Gewerbe** verstärkt entwickelt werden soll (=gewerblicher Entwicklungsort).*

Funktion L: *Gemeinde, deren Gesamtstruktur durch die **Landwirtschaft** geprägt wird; die Produktionsbedingungen sind zu sichern.*

Funktion E: *Gemeinde übt bedeutende Funktion als **Erholungsgemeinde** aus; diese Funktion ist zu sichern.*

Funktion E: *Gemeinde, die für die **Erholung** landschaftlich und infrastrukturell besonders gut geeignet ist und die für Fremdenverkehr oder Naherholung ausgebaut werden soll.*

(PGW 1990, 5)

Funktionen (E) und (E): *Gemeinde, welche die Kriterien für die Funktionszuweisung im Bereich **Erholung** nicht vollständig erfüllt, die allerdings die Anforderungslücke im Verbund mit benachbarten Gemeinden schließen kann (*kompensatorische Verbundlösung*).*

Im Einzugsgebiet des Glan haben die Funktionen der Gemeinden nach der strukturräumlichen Gliederung ihre Schwerpunkte vor allem im landwirtschaftlichen Bereich. Besonders der nördliche und mittlere Raum wird durch die Funktionen *Landwirtschaft* und *Landwirtschaft und Erholung* bestimmt. Die einzigen Inseln für *Gewerbe, Dienstleistung und Wohnen* bilden Lauterecken, Kusel, Wolfstein und Glan-Münchweiler. Erst die Landstuhler Senke und der Mittelbereich Kaiserslautern im Süden des Einzugsgebiets werden durch die Funktion *Gewerbe, Dienstleistung und Wohnen* geprägt (PGW 1990, 9). Für diese Bereiche wird eine starke Siedlungsentwicklung erwartet.

Die Funktionszuweisungen haben für die Gemeinden in erster Linie den Effekt, daß sie in diesem Bereich verbesserte Förderungsmöglichkeiten besitzen. Da sie außerdem bestimmten wirtschaftlichen und naturräumlichen Kriterien folgen, werden sich die Gemeinden ihren Entwicklungsschwerpunkt entsprechend der jeweiligen Funktion suchen. Dies wiederum hat direkte Folgen für die Entwicklung der Landnutzung in den Gemeinden.

Als effektiv ist demnach die Ausweisung der Gemeinden mit den Funktionen E, E, (E) und (E) anzusehen, da hier die monetäre Grundlage des Schutzes eine wichtige Motivation darstellt. Als Stichwort sei der Tourismus genannt. Nach dem regionalen Raumordnungsplan soll dabei zwischen Gebieten mit sehr guter, naturnaher Erholungseignung und übrigen Erholungsräumen unterschieden werden (z.B. Städtetourismus). Erstere sollen der naturnahen Erholung vorbehalten bleiben, so daß in diesen Bereichen eine Verbauung zu vermeiden ist. Die Fremdenverkehrsinfrastruktur soll in den übrigen Erholungsräumen konzentriert werden, wobei eine Übernutzung auch im Sinne des Landschaftsbildes und der landschaftsbezogenen Erholung zu verhindern ist. Maßnahmen wie Dorferneuerung, Umnutzung von Gebäuden und Geländen und Freizeitwohngelegenheiten können hierunter gefaßt werden (PGW 1990, 57f).

Im Einzugsgebiet des Glan trifft man nur vereinzelt auf die Ausweisung der Gemeinden mit Erholungsfunktionen. In der Regel findet die kompensatorische Verbundlösung Anwendung, so auch im Bereich von Lauterecken. Bei der Verbundlösung können bzw. sollen mehrere Gemeinden im Verbund die jeweilige Funktion erfüllen, so daß die anfallenden Kosten aufgeteilt werden können.

Festsetzung von Vorrang- und Vorbehaltsflächen

Ein wichtiges Instrument im regionalen Raumordnungsplan ist die Ausweisung von Vorrangflächen, die der entsprechenden Nutzung im Falle einer Nutzungsänderung Vorrang einräumt. Da der Plan für die gesamte Westpfalz gilt, wird mit diesem Instrumentarium die gemeindliche Eigenentwicklung zumindest für die festgesetzten Vorrang- und Vorbehaltsflächen eingeschränkt. Vorrangflächen können für verschiedene Nutzungsarten ausgewiesen werden:

- Vorrang- und Vorbehaltsflächen für großflächige Gewerbe- und Industrieflächen
- Rohstoffvorrangflächen
- Vorrangflächen für die Landwirtschaft
- Vorrangflächen für den Trinkwasserschutz
- Vorrangflächen für den Biotopschutz
- Regionaler Grünzug

Vorrang- und Vorbehaltsflächen für großflächige Gewerbe- und Industrieflächen

Aufgrund der Standortkonversion durch den Truppenabbau in der Westpfalz sind umfangreiche Maßnahmen zur Stärkung der Wirtschaft notwendig geworden. Im Hinblick auf den europäischen Binnenmarkt und die dadurch entstehenden Firmenverflechtungen sind zudem interkommunale Kooperationen insbesondere im Stadt-Umland-Bereich erforderlich. Insgesamt geht man in der Westpfalz dazu den Weg der Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsflächen für großflächige Gewerbe- und Industrieflächen (PGW 1995, 5).

Vorbehaltsflächen werden dann ausgewiesen, wenn ein „Vorrang nicht ausreichend begründet, methodisch nicht einwandfrei hergeleitet oder aufgrund unvollkommener Informationen ... nicht entschieden werden kann“ (PGW 1995, 7). Dabei geht man im Grundsatz davon aus, daß ein Vorrang ausgewiesen wird, wenn die den Vorbehalt bedingenden Gründe ausgeräumt werden können (ebd.).

Im regionalen Raumordnungsplan 1989 werden überregional und regional bedeutsame Gewerbe- und Industriegebiete unterschieden. Erstere haben dabei eine nutzbare Baufläche von über 30 ha, letztere nur zwischen 10 und 30 ha. Für den Einfluß auf die Grundwasserneubildung bzw. die Verdunstung sind solche Flächen zwar entscheidend, allerdings läßt der Maßstab eines gesamten Einzugsgebiets keine Erfassung von einzelnen Flächen von bis zu 30 ha zu (PGW 1995, 5). Es läßt sich jedoch feststellen, daß die ausgewiesenen Vorrang- und Vorbehaltsflächen im Einzugsgebiet vor allem im Raum Kaiserslautern und der Landstuhler Senke liegen, also jenen Bereichen, für die ohnehin eine starke Siedlungsentwicklung erwartet wird. Bezüglich der Szenariobildung können diese Vorrang- und Vorbehaltsflächen demnach mit der weiteren Siedlungsentwicklung berücksichtigt werden.

Rohstoffvorrangflächen

Wie in Kapitel 1 bereits beschrieben, lagern in der Westpfalz wertvolle Reserven an Hartsteinen, Sanden und Tonen. Um diese Vorräte zu sichern bzw. auf Dauer nutzbar zu erhalten, gibt es zum einen die Möglichkeit der Ausweisung von *Vorrangflächen für die Rohstoffgewinnung*, zum anderen aber auch von *weiteren für die Gewinnung von Rohstoffen bedeutsamen Flächen* oder von *Freiflächen zur Sicherung natürlicher Ressourcen*. Wichtig ist bei allen Kategorien, daß bezüglich benachbarter Biotope Rücksicht zu walten hat,

indem gegebenenfalls Pufferzonen einzurichten, Ausgleichsmaßnahmen durchzuführen oder Abbau- und Rekultivierungspläne zu erstellen sind (PGW 1990, 77).

Vorrangflächen werden für Lagerstätten von heutigem wirtschaftlichen Interesse ausgewiesen, wenn sie kaum Konflikte mit anderen Nutzungen aufweisen. Sind Flächen als Vorrangflächen ausgewiesen, müssen andere Nutzungen, die der Rohstoffgewinnung entgegenstehen, unterbleiben (ebd.). Flächenmäßig fallen die Vorrangflächen inklusive der bereits genehmigten Abbauflächen wenig ins Gewicht. Wegen des großen Einflusses auf den Wasserhaushalt sind jedoch die diversen Flächen zwischen Kusel und Wolfstein zu erwähnen.

Bei der Kategorie „*weitere für die Gewinnung von Rohstoffen bedeutsamen Flächen*“ sind Nutzungsänderungen speziell unter dem Aspekt der Rohstoffgewinnung zu prüfen. Allerdings sind diese ebenso wie die *Freiflächen zur Sicherung natürlicher Ressourcen* wegen des geringen Vorkommens im Einzugsgebiet des Glan zu vernachlässigen. Letztere stellen Flächen dar, bei denen hochwertige Rohstoffvorkommen von wertvollen Biotopen oder Wasservorkommen überlagert werden. In diesem Fall ist keine Vorrangentscheidung möglich bzw. noch nicht nötig, so daß diese zugunsten einer der beiden Nutzungen offengehalten wird (ebd.).

Vorrangflächen für die Landwirtschaft

Im Einzugsgebiet des Glan ist die land- und forstwirtschaftliche Entwicklung besonders entscheidend für die Gebietsentwicklung und damit für die Szenarien. Im regionalen Raumordnungsplan 1989 gibt es vielfältige Maßnahmen, die zur Verbesserung der Agrarstruktur beitragen sollen.

Zur Sicherung der entwicklungsfähigen landwirtschaftlichen Betriebe kann der Gemeinde nach dem Prinzip der räumlich-funktionalen Arbeitsteilung die Funktion L zugewiesen werden (s.o.). In Kombination mit Flächen sehr günstiger Ertragsbedingungen (Eignungsstufe I) wurden außerdem Vorrangflächen für die Landwirtschaft ausgewiesen (vgl. PGW 1990, 35). Da in der Westpfalz allerdings eher mit weniger günstigen Standortbedingungen zu rechnen ist, beschränken sich die ausgewiesenen Vorrangflächen auf die Bereiche südöstlich von Kusel und nördlich bzw. südöstlich von Lauterecken. Im nördlichen Bereich der Landstuhler Senke kommt es innerhalb des regionalen Grünzuges (s.u.) zu weiteren Ausweisungen von Vorrangflächen für die Landwirtschaft.

In diesem Zusammenhang sind weiter die Bodenneuordnungsverfahren nach dem Flurbereinigungsgesetz (vgl. Kap. 3) zu nennen. Ziel ist dabei die Beseitigung der Besitz- und Flurzersplitterung und die wegemäßige Erschließung der landwirtschaftlichen Nutzflächen, um die Produktivität zu steigern.

Neben den fördernden bzw. sichernden Maßnahmen gibt es im Agrarbereich jedoch auch hemmende Faktoren, die einer landwirtschaftlichen Entwicklung entgegenstehen. Dazu

gehört in erster Linie die Tatsache, daß eine räumliche Entwicklung der Bereiche Siedlung, Infrastruktur, Gewerbe und Industrie immer auf Kosten der landwirtschaftlichen Nutzflächen geht (vgl. Kap. 4). Auch die notwendigen Flächen für den Naturschutz gehen der Landwirtschaft auf Dauer verloren. Dazu zählen vor allem Bewirtschaftungseinschränkungen für Biotopvernetzungen, Pufferzonen, Aufforstungen, Gewässer- oder Ackerrandstreifen. Im Einzugsgebiet des Glan spielen zudem Flächenaufgaben aufgrund ungünstiger Standorteigenschaften (z.B. von erosionsgefährdeten Standorten in Steillagen) eine besondere Rolle. Hier soll einem weiteren Bruchfall bisher landwirtschaftlich genutzter Flächen entgegengewirkt werden (PGW 1990, 34).

Vorrangflächen für den Trinkwasserschutz

Um die Trinkwasserversorgung in der Westpfalz zu gewährleisten, wurden verschiedene Wasserversorgungsverbände eingerichtet. Ihre Aufgabe ist es, für eine rationelle und umweltgerechte Wasserverwendung, für die Abwasserbehandlung und für die Gewässerpflege- bzw. deren Ausbau zu sorgen (vgl. PGW 1990, 52). Wichtigste Maßnahme ist neben der Ausweisung von Wasserschutzgebieten die Festsetzung von Vorranggebieten für den Trinkwasserschutz, in denen bestimmte Nutzungen, die eine Trinkwasserförderung beschränken würden, nicht gestattet sind (vgl. PGW 1990, 80). Im Einzugsgebiet des Glan gibt es allerdings keine Vorrangflächen für den Trinkwasserschutz, da die geologischen Verhältnisse eine Festsetzung verhindern (vgl. Kap. 1, *Grundwasser*).

Grundsätzlich soll das von der Industrie benötigte Brauchwasser in erster Linie aus Oberflächengewässern und unter Mehrfachnutzung entnommen werden. Bei der Grundwasserentnahme für das Trinkwasser ist eine zu hohe punktuelle Entnahme zu vermeiden und die Einrichtung mehrerer Gewinnungsgebiete zu forcieren (vgl. PGW 1990, 53).

Vorrangflächen für den Biotopschutz

Für die Erhaltung der spezifischen Lebensräume (Biotope) der Arten gibt es neben der Festsetzung der Schutzgebiete nach dem Landschaftspflegegesetz von Rheinland-Pfalz⁴ die Möglichkeit, ein Gebiet zum *Vorranggebiet für den Arten- und Biotopschutz* oder zu einer *Fläche, die für den Landschaftsschutz bedeutsam ist*, zu erklären (PGW 1990, 74). Die Flächen werden unter anderem aus den im LEP bestimmten *landesweit bedeutsamen Kernräumen und Vernetzungsachsen für den Arten- und Biotopschutz* sowie aus den *Schwerpunkträumen für den Freiraumschutz* entwickelt (MIS 1998, 23).

Dabei sind *Vorranggebiete* ökologisch wertvolle, regional bedeutsame und gefährdete Biotope von mindestens 10 ha Größe, zu deren Erhaltung gegebenenfalls auch Pflege- und Entwicklungspläne aufgestellt werden können. Vorranggebiete für den Arten- und Biotop-

⁴ Naturschutzgebiet, Landschaftsschutzgebiet, Naturpark, Biosphärenreservat, Naturdenkmal, geschützter Landschaftsbestandteil

schutz finden sich mehr oder weniger gleichmäßig über das Einzugsgebiet des Glan verteilt. Insgesamt ist das Ziel, eine Biotopvernetzung zu erreichen, um die natürliche Stabilität der Ökosysteme mit den jeweiligen Lebensgemeinschaften zu sichern (ebd.).

Für den Landschaftsschutz bedeutsame Flächen zeichnen sich durch ihre besondere landschaftliche Schönheit aus. Sie bilden in der Regel die Grundlage für die Ausweisung von Landschaftsschutzgebieten, wodurch in diesen Gebieten nur Vorhaben zulässig sind, „die mit dem Landschaftsschutz auf Dauer vereinbar sind“ (PGW 1990, 75). Flächenmäßig spielen besonders die Flächen in den nördlichen Quellregionen des Glan in Richtung des Truppenübungsplatzes Baumholder (nordwestlich von Kusel) sowie solche nordwestlich und südöstlich von Lauterecken eine herausragende Rolle. Diese sind als Erholungsgebiet und für den Arten- und Biotopschutz bedeutsam (vgl. Kap. 1). In der AEP Lauterecken werden sie daher als Erlebnisraum für eine landschaftsgebundene Erholung bezeichnet (GfL 1998, 176). Durch die Ausweisung zu einem Landschaftsschutzgebiet ergibt sich eine Grundlage für die Förderungsmöglichkeit des Fremdenverkehrs in diesen besonders wenig entwickelten Regionen und für eine dementsprechende Entwicklung. Insbesondere die Entwicklung dieser Quellregionen hat großen Einfluß auf den Wasserhaushalt des Glan.

Festlegung eines regionalen Grünzuges

Ziel eines regionalen Grünzuges ist die langfristige Offenhaltung der unbesiedelten Landschaft in Bereichen mit starker Siedlungsentwicklung. Dabei handelt es sich insbesondere um größere zusammenhängende Flächen mit hochwertigen ökologisch, wirtschaftlich oder landschaftsästhetisch bedeutsamen Naturraumpotentialen. Es gilt das Prinzip, daß nur zusammenhängende und untereinander in Verbindung stehende Flächen die Funktionsfähigkeit des Freiraums gewährleisten (PGW 1990, 23). Im Einzugsgebiet des Glan trifft dies hauptsächlich auf den Mittelbereich Kaiserslautern, den Bereich der Landstuhler Senke und den dazu nördlich liegenden Bereich zu, da hier die Gebiete mit starker Siedlungsentwicklung liegen.

Die planerische Konsequenz ist eine Einschränkung der Besiedelung in den noch vorhandenen Freiräumen. Bei geplanten Vorhaben müssen daher eine Reihe von Nachweisen vorgelegt werden, die zeigen, daß entweder die Funktionen des regionalen Grünzuges durch das Vorhaben nicht beeinträchtigt werden (Umweltverträglichkeitsprüfung) oder das Vorhaben in einem überwiegenden öffentlichen Interesse steht. Letzteres beinhaltet den Nachweis, daß ein Standort außerhalb des regionalen Grünzuges nicht in Betracht kommt (vgl. PGW 1990, 76).

Um die Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes zu gewährleisten (vgl. Kap. 4.1.4 *Exkurs: Funktionen des Waldes*), wurde diesen beim Staatswald⁵ in der Regel Vorrang vor der Nutzfunktion eingeräumt. Dabei ist ein Verlust von Wald durch Ersatzaufforstungen zu ersetzen (GfL 1998, 155). Zur Stärkung der Forstwirtschaft stehen unter den Grundsätzen der Walderhaltung und -gestaltung Möglichkeiten der Verbesserung der Besitzstruktur (Waldflurbereinigung, Flächenarrondierung, forstliche Zusammenschlüsse) zur Verfügung (PGW 1990, 35). Auf die Umsetzung des naturnahen Waldbaus auf der ganzen Fläche ist hinzuwirken (GfL 1998, 155). Ziel ist es, notwendige Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen in einem forstwirtschaftlichen Rahmenplan Westpfalz und in Wald-funktionsplänen zu konkretisieren.

2.4 Fachplanungen / Sonstiges

2.4.1 Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung (AEP)

Die Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung Lauterecken wurde von der Planungs- und Ingenieurgesellschaft GmbH (GfL) 1998 fertig gestellt und gilt für ein Planungsgebiet von 9 186 ha. Sie beinhaltet ein integriertes Leitbild und eine Landnutzungskonzeption mit umsetzungsorientierten Handlungskonzepten (GfL 1998, 1). Im Rahmen dieser Arbeit sind die Leitbilder und Konzeptionen dahingehend interessant, als daß sie Einfluß auf die zukünftigen Landnutzungen ausüben. Zu beachten ist der eingeschränkte Planungsraum, der einen Teilbereich des Einzugsgebiets des Glan darstellt. Die Verbandsgemeinde Lauterecken befindet sich im nördlichen Bereich im Landkreis Kusel. Sie kann für den ländlich geprägten Teil des Einzugsgebietes im Norden als repräsentativer Ausschnitt betrachtet werden. Auf die Gebiete der Landstuhler Senke und der kreisfreien Stadt Kaiserslautern können die Ergebnisse allerdings aufgrund der strukturräumlichen Gegebenheiten nicht übertragen werden (vgl. Kap. 1).

Im folgenden werden die sektoralen Leitbilder und Konzeptionen, die auf eine räumliche Entwicklung Einfluß nehmen, kurz vorgestellt, sofern sie nicht schon in anderen Planungen beschrieben worden sind.

Landwirtschaft

Die in der AEP Lauterecken vorgeschlagenen Teilziele fordern in erster Linie eine Vergrößerung der betrieblichen Wirtschaftsflächen mit einem Schwerpunkt in der Viehwirtschaft, d.h. in der Grünlandnutzung. Darüber hinaus zielen sie auf außerbetriebliche Einkommensquellen und Fördermöglichkeiten ab. Dabei werden flächenbedeutsame Maßnahmen wie eine Bodenordnung, die Förderung einer gesteigerten Grünlandverwertung sowie einer extensiven Grünlandnutzung vorgeschlagen (vgl. Kap. 3). Ökologische und wasserwirtschaftliche Zielsetzungen sollen durch ein differenziertes Flächenmanagement

⁵ Etwa 75 % des Waldes in der Westpfalz sind Staatswald (PGW 1990, 75).

umgesetzt werden. Im ökonomischen Bereich soll weiter eine verbesserte Beratung, Vermarktung und der touristische Nebenerwerb gefördert werden (vgl. GfL 1998, 144).

Natur und Landschaft

In dem fachlichen Leitbild Natur und Landschaft der AEP Lauterecken und den daraus entwickelten Teilzielen erfolgt eine Konkretisierung des Leitbildes für Ressourcenschutz des LEP III auf sektoraler Ebene. Letzteres zielt z.B. auf eine „Verbesserung der Landschaft als Erlebnisraum für die landschaftsgebundene stille Erholung ... (im Rahmen von Nutzungsänderung, -extensivierung oder -aufgabe)“ (GfL 1998, 147) ab. Für die Talräume von Glan, Lauter und Odenbach bedeutet das mit ihrer besonderen Relevanz als Vernetzungsachse zum einen die Entwicklung von Feucht- und Naßgrünland sowie von Uferrandstreifen. Zum anderen soll eine Extensivierung der Auennutzung mit der Umwandlung von Acker- in Grünlandnutzung erfolgen. Ferner sind kulturbestimmte Trockenbiotope wie Halbtrockenrasen offenzuhalten und zu pflegen. Für die Hochflächen und die mittleren Offenlandbereiche ist eine Erhaltung und Verbesserung des Landschaftsbildes und der Biotopvernetzung anzustreben. Erreicht werden soll dies durch eine 5-prozentige Struktur-anreicherung unter anderem mit Ackerrandstreifen, Saum- und Heckenstrukturen sowie durch Streuobst und extensive Grünlandnutzung. Gegebenenfalls sind Aufforstungen mit stabilen Laubmischwäldern durchzuführen bzw. zu fördern. Diese Strukturen dienen darüber hinaus dem Schutz und der Sicherung der abiotischen und biotischen Ressourcen, d.h. beispielsweise zum einen der Verminderung von Erosion und zum anderen einer Biotopvernetzung (vgl. GfL 1998, 148).

Wasserwirtschaft

Das fachliche Leitbild Wasserwirtschaft wird auf der Basis der überregionalen Planungen und Programme wie der Aktion Blau und dem Naheprogramm aufgestellt. In erster Linie fordert es die „Sicherung bzw. Wiederherstellung der Funktion der Gewässer und Talauen als leistungsfähige Lebens- und Retentionsräume“ (GfL 1998, 151). Neben den Teilzielen der übrigen sektoralen Leitbilder und Konzeptionen, die z.B. die Anlage von Uferrandstreifen, die Extensivierung der Auen und die Umwandlung von Acker- in Grünlandnutzung beinhalten, wird hier besonderer Wert auf die Ausweisung von gesetzlich festgelegten Überschwemmungsgebieten und die Renaturierung von Bächen und Bachauen gelegt. Dabei bildet die ländliche Bodenordnung eine Umsetzungsmöglichkeit der Leitziele (ebd.; vgl. Kap. 3).

Für die Planung bedeuten diese Ziele, daß auf den Hochflächen eine ackerbauliche Nutzung mit Offenlandcharakter und Biotopstruktur-anreicherung (z.B. Ackerrandstreifen) erfolgen soll. Auf mittleren Standorten ist ein strukturreiches Offenland mit Streuobst und extensivem Grünland zu entwickeln. Eine Extensivierung ist anzustreben. Ferner ist an Hanglagen gegebenenfalls eine Umwandlung der ackerbaulichen Standorte in Grünland

oder Mischwald durchzuführen, um die Niederschlagsversickerung zu verbessern und die Erosion zu verringern. In den Talregionen ist insbesondere in den Überschwemmungsgebieten die Umwandlung von Acker in extensives Grünland, Feucht- und Naßgrünland zu fördern.

2.4.2 Planung Vernetzter Biotopsysteme

Die Planung Vernetzter Biotopsysteme wird landkreisbezogen im Maßstab 1 : 25 000 herausgegeben. Für die Bearbeitung des Untersuchungsgebietes werden zwei gültige Planungsbände herangezogen, da die Kreise Kaiserslautern Stadt und Land in einem Band abgehandelt werden. Die Fachplanung des Naturschutzes bezieht sich nur auf unbesiedelte Bereiche, deren Bestandskarten die Auswertung der Biotopkartierung darstellt. Darüber hinaus werden auf der Grundlage der heutigen potentiell natürlichen Vegetation Ziel- und Prioritätenkarten erstellt. Durch den großen Maßstab sind die Aussagen der Planung Vernetzter Biotopsysteme stark umsetzungsorientiert. Programme und Fördermaßnahmen werden im Kapitel 3 näher beschrieben. Die folgende Unterteilung der Kategorien wird aus der Planung übernommen.

Wiesen und Weiden

Insgesamt besteht das Ziel der Planung Vernetzter Biotopsysteme in der Erhaltung und Entwicklung der Biotope, die einen Lebensraum für eine Vielzahl (seltener) Tier- und Pflanzenarten darstellen. Im Bereich des Einzugsgebietes des Glan sind das neben kleinflächigen Extremstandorten wie Trockenrasen oder Felsbiotopen vor allem vernetzte Biotope der mittleren Standorte. Hier sind Feucht- und Naßwiesen, Röhrichte und Großseggenriede durch eine vielfältige Nutzung in verschiedenen Biotopausbildungen und Sukzessionsstadien zu erhalten und zu pflegen (MfUF/LfUG 1995 bzw. 1997, 165-206 bzw. 141-190). Darüber hinaus sollen die Verlandungszonen von Gewässern durch biotopgestaltende Maßnahmen vergrößert werden (MfUF/LfUG 1995 bzw. 1997, 228 bzw. 221).

Das Ziel der Erhaltung und Pflege gilt auch für die Standorte der Mageren Wiesen und Weiden sowie der Halbtrockenrasen, Borstgrasrasen und Zwergstrauchheiden. Ferner ist eine Förderung der Streuobstbestände anzustreben. In der Landstuhler Senke kommt das Ziel der Erhaltung und Entwicklung von Restflächen der Zwischenmoore und Moorheiden hinzu (MfUF/LfUG 1995 bzw. 1997, 165-206 bzw. 141-190).

Wälder

Nach der Planung Vernetzter Biotopsysteme sollen zum einen besonders (Buchen- und Eichen-)Altholzbestände und zum anderen lichte Wälder bzw. solche mit Halboffenlandcharakter gesichert bzw. entwickelt werden (vgl. MfUF/LfUG 1995 bzw. 1997, 228 bzw. 221). Darüber hinaus ist an geeigneten Standorten die Entwicklung von Gehölzsäumen und Bachuferwäldern entlang der im Wald verlaufenden Fließgewässer sowie von Bruch- und Sumpfwäldern zu fördern. Letzteres trifft insbesondere in der Landstuhler Senke zu. Des

weiteren zielt die Planung auf den Erhalt und die Entwicklung von Trockenwäldern ab, aber auch von Wäldern mittlerer Standorte mit besonderer Bedeutung für den Naturschutz (MfUF/LfUG 1995 bzw. 1997, 165-206 bzw. 141-190).

Wichtig für die Entwicklung der Szenarien sind weniger die kleinräumigen Planungsziele als die generelle Tendenz der Extensivierung sowie der Maßnahmen in den Auen. In den Überschwemmungsgebieten wird z.B. die Entwicklung von Frisch- und Naßgrünland sowie von Bachuferwäldern, Bruch- und Sumpfwäldern gefordert. Besonders im Bereich der Landstuhler Senke sind zusätzlich die Restflächen der Zwischenmoore und Moorheiden zu sichern und zu entwickeln (MfUF/LfUG 1997, Karte *Prioritäten*).

In den Offenlandbereichen ist eine reichhaltige Strukturierung und Pflege der Landschaft das Ziel, wie auch insbesondere die Förderung von Streuobstwiesen. Auf der Prioritätenkarte des Landkreises Kusel kann man im zentralen Bereich zwischen Altenglan und Wolfstein in weiten Teilen die Förderung der Mageren Wiesen und Weiden erkennen (MfUF/LfUG 1995, Karte 3).

2.4.3 Raumordnungsbericht 1998

Der Raumordnungsbericht stellt im eigentlichen Sinne keine Planung dar. Er dient dem gesetzlichen Auftrag der Landesregierung, die Öffentlichkeit über den Entwicklungsstand und durchgeführte raumbedeutsame Maßnahmen im Berichtszeitraum zu unterrichten (MIS 1998, 1). Ein Berichtszeitraum geht über fünf Jahre. Im Rahmen dieser Arbeit findet der Raumordnungsbericht dennoch Berücksichtigung, da er die über die Zusammenfassung des Entwicklungsstandes hinaus eine wichtige Planungsgrundlage darstellt. Bisweilen faßt er auch Planungen und zugrundeliegende Leitbilder zusammen.

Im folgenden sollen die für die Aufgabenstellung relevanten Fakten dargestellt werden, sofern sie nicht schon bei anderen Planungen erfaßt wurden. In erster Linie betrifft dies den Bereich der wasserwirtschaftlichen Planung, da der Wasserwirtschaftliche Rahmenplan von 1979 veraltet ist und daher nicht berücksichtigt wird (vgl. Kap. 2.2.2). Für diese Arbeit sind diese Planungen deshalb interessant, da sie über die Ausbildung der Gewässer Einfluß auf die Grundwasserneubildung und die Verdunstung nehmen.

Dem Raumordnungsbericht zu Folge ist das Leitbild der wasserwirtschaftlichen Planung der *potentiell natürliche Zustand eines Gewässers* (MIS 1998, 42). Dabei sollen sich die natürlichen Funktionen eines Ökosystems erhalten, wenn man einen naturnahen Zustand ohne störende Eingriffe des Menschen herstellt. Ziel ist es daher, den Raum und die Funktion des Gewässerbettes, der Ufer und der Auen als Strukturerefordernisse wiederherzustellen (ebd.). Für die Umsetzung stehen den planenden Instanzen mehrere Instrumentarien wie z.B. Gewässerpflegepläne, Gewässerrenaturierungsprojekte oder Bachpatenschaften zur Verfügung. Darüber hinaus können im Rahmen verschiedener Konzepte Fördergelder bereit gestellt werden.

Zu erwähnen sind folgende drei Konzepte:

- Hochwasser- und Vorsorgekonzept Rheinland-Pfalz
- Aktion Blau
- Konzept zur Niederschlagsbewirtschaftung

Hochwasser- und Vorsorgekonzept Rheinland-Pfalz

Das Hochwasser- und Vorsorgekonzept ist eine Folge aus verschiedenen Hochwasserereignissen der letzten Jahre. Es hat sich gezeigt, daß technische Schutzmaßnahmen nicht ausreichen und eine Vorsorge auch auf Basis einer umweltverträglichen Nutzung der Gewässer notwendig ist. Das 1994 vorgestellte Konzept beinhaltet drei Programmpunkte (MIS 1998, 178):

- 1) *natürlicher Wasserrückhalt durch Versickern und Renaturieren*
- 2) *technischer Hochwasserschutz durch Rückhalten und Abwehren*
- 3) *weitergehende Hochwasservorsorge*

In diesem Sinne wurden verschiedene Instrumentarien wie der *Aktionsplan Hochwasser* für den Rhein oder die *kommunale AG „Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der Nahe“* gegründet (MIS 1998, 178f). Im Rahmen dieser Arbeit ist insbesondere die darin verwirklichte Planung von Überschwemmungsgebieten interessant. So wird in der Fortschreibung des regionalen Raumordnungsplanes die Ausweisung von *Vorranggebieten für die Wasserwirtschaft zur Abwehr von Hochwassergefahren* möglich sein (MIS 1998, 181). Ziel ist die gesetzliche Festsetzung von Überschwemmungsgebieten. Dabei sollen zum einen noch vorhandene, natürliche Flächen gesichert sowie ein Wiederherstellen naturnaher Gewässer erreicht werden. Darüber hinaus dienen sie bei der Festlegung von Flächen- und Raumnutzungen als wichtiges Kriterium unter anderem für Genehmigungen oder Versicherungsprämien. Überschwemmungsgebiete sind von Siedlungs-, Gewerbe- oder Industriegebieten frei zu halten (ebd.). Bei der Entwicklung der Landnutzungsszenarien ist dieser Zusammenhang von entscheidender Bedeutung.

Aktion Blau

Die *Aktion Blau* stellt ein Aktionsprogramm dar, das die Wiederherstellung natürlicher bzw. naturnaher Gewässer in Rheinland-Pfalz zum Ziel hat. Dabei gliedert sie sich in vier Aktionsbereiche (vgl. MfUF 1999, 23ff):

- 1) Methodenentwicklung
- 2) Datenbereitstellung
- 3) Flußgebietsentwicklungspläne
- 4) Umsetzung

Im Rahmen dieser Arbeit ist in erster Linie die Umsetzung interessant. Näheres dazu wird im Kapitel 3 beschrieben.

Konzept zur Niederschlagsbewirtschaftung

Das von der Landesregierung entwickelte Konzept hat zum Ziel, das Niederschlagswasser kostengünstig und umweltgerecht zu versickern, um den Abfluß so gering wie möglich zu halten. Es schließt damit an das Hochwasser- und Vorsorgekonzept an (s.o.). Durch eine dezentrale Nutzung und die Versickerung vor Ort wird eine Abwasserableitung und –behandlung überflüssig. Die Umsetzung des Konzeptes erfolgt auf der Ebene einer ökologisch orientierten Bauleitplanung in Form eines 5-Punkte-Modells (vgl. MIS 1998, 45):

- 1) Vermeidung des Niederschlagsabflusses z.B. durch Entsiegelung, durchlässige Beläge und Grasdächer
- 2) Dezentrale Bewirtschaftung des Niederschlagswassers z.B. durch Rückhaltung, Verdunstung und Versickerung
- 3) Gerichteter flächenhafter Abfluß in Richtung des Gewässers
- 4) Verwertung des Niederschlagswassers
- 5) Zentrale Bewirtschaftung des Niederschlagswassers im und außerhalb des Baugebiets (mit ortsnaher Rückhaltung)

Bei Umsetzung dieser Planungen kann man in Siedlungsbereichen sowohl von einer erhöhten Grundwasserneubildung als auch Verdunstung ausgehen.

2.5 Zusammenfassung der bestehenden Planungen

Die Zusammenfassung der Planungen beschreibt schwerpunktmäßig die raumbedeutsamen Aussagen und Tendenzen, da diese als Grundlage für die zu entwickelnden Szenarien zu werten sind. Dabei werden die grundsätzlichen Angaben den regionsspezifischen vorweggenommen.

2.5.1 Vorgaben durch die EU-Politik

Der Einfluß der raumbedeutsamen Vorgaben durch die EU-Politik auf die Landespolitik, die Planungen und dementsprechend auf die Förderprogramme ist enorm. Insbesondere im Zuge der Entwicklungen in der EU vergrößert sich deren Einfluß stetig.

Dabei ist für die räumliche Entwicklung vor allem der ländliche Raum relevant. Die Agrarpolitik der EU ist gekennzeichnet durch sinkende Preisstützungen. Ziel ist es zum einen, die Agrarausgaben der EU zu verringern, zum anderen die Preiserlöse in der Landwirtschaft an das Preisniveau des Weltmarktes heranzuführen. Im Gegenzug werden die Einkommensverluste durch flächen- bzw. tiergebundene Ausgleichszahlungen unter anderem für bestimmte Kulturpflanzen wie Getreide und für Rinder ausgeglichen.

Auf die Flächennutzung hat dies insofern Auswirkungen, als daß die Regelmechanismen des Marktes z.B. durch Angebot und Nachfrage dadurch nachhaltig gestört werden. Auf diese Weise ist beispielsweise die Produktion von Schweinefleisch relativ gesehen teurer als das von Rindfleisch, für das es Ausgleichszahlungen von der EU gibt. Je nach Verhält-

nis der Zahlungen kommt es so zu einer Förderung von Grünland gegenüber Ackerland und umgekehrt. Eine genaue Analyse der Auswirkungen auf den Raum des Einzugsgebietes des Glan ist aufgrund der Komplexität im Rahmen dieser Arbeit nicht vollständig möglich.

Ein Ziel der Entwicklung des ländlichen Raumes in der EU ist nach wie vor eine flächendeckende Bewirtschaftung. Um der Überproduktion zu begegnen, wurde in der EU außerdem eine obligatorische konjunkturelle Stilllegung von 10 % der Produktionsflächen (bis 2006) beschlossen (vgl. LANDTAG RLP 1999, 34). Da diese jedoch nur vorübergehend stattfinden, sind die Auswirkungen sowohl auf die Natur als auch auf den Wasserhaushalt kaum spürbar und somit zu vernachlässigen.

Im Rahmen der Agenda 2000 wurden ferner die Land- und Forstwirtschaft als Bestandteil der ländlichen Entwicklung festgeschrieben. Dazu gehört deren Förderung zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit des ländlichen Raumes wie auch alternativer Einkommensquellen. Dabei ist der Schutz der Umwelt als vordringliches Ziel aufgenommen worden, so daß von nun an eine Förderung an die Erfüllung bestimmter Agrarumweltmaßnahmen gebunden ist (vgl. EUROPÄISCHE KOMMISSION 1999a, 7; SCADPLUS 2000a, 5).

Die Politik des ländlichen Raumes ist eng verknüpft mit der Strukturpolitik und den damit verbundenen Fördermöglichkeiten der EU. Um keine künstliche Trennung des Themenkreises zu schaffen und um den finanziellen Einfluß zu betonen, erfolgt die nähere Betrachtung im Kapitel 3.

Der Schwerpunkt der Wasserwirtschaftspolitik der EU liegt eindeutig auf der Wasserqualität. Mit der neuen Wasserrahmenrichtlinie wird ein weiterer Akzent auf ein Flußgebietsmanagement gesetzt, das sowohl das Aufstellen von Flußgebietsplänen als auch von Maßnahmenprogrammen beinhaltet. Ziel ist es, zum einen die Qualität der Gewässer und des Grundwassers zu verbessern bzw. zu erhalten und zum anderen die Quantität des Grundwassers zu sichern bzw. anzureichern. Des weiteren soll durch die Bewirtschaftung ein ökologisch einwandfreier Zustand der Gewässer erreicht werden, der keine negativen Auswirkungen der anthropogenen Einflüsse erkennen läßt. Für das Einzugsgebiet des Glan zeigen sich die Auswirkungen auf die Landespolitik in einer Bestätigung der bisherigen Politik z.B. der Aktion Blau (vgl. 55).

2.5.2 Planungen für das gesamte Einzugsgebiet

Im Einzugsgebiet des Glan ist eine landwirtschaftliche Nutzung bis in die Auenbereiche und an die Ufer der Gewässer üblich. Dies bringt neben Überschwemmungen der landwirtschaftlichen Nutzfläche auch negative Einflüsse auf das Gewässer wie z.B. eine Nitratverlagerung mit sich. Darüber hinaus hat jede Urbanisierung eine Versiegelung zur Folge, die wiederum den Abfluß des Niederschlags beschleunigt und die Abflußextreme im Gewässer verschärft. Aufgrund dessen besteht das Hauptinteresse der wasserwirtschaft-

lichen Planung neben der Renaturierung der Gewässerläufe vor allem in der Durchsetzung von Gewässerrandstreifen und Überschwemmungsgebieten. Ziel ist es daher, bei der Flächennutzung die natürlichen Überschwemmungsflächen zu beachten und diese zum einen freizuhalten und zum anderen auch wiederherzustellen. Für die Talräume von Glan, Lauter und Odenbach⁶ existieren gesetzlich festgelegte Überschwemmungsgebiete. Sie sind sowohl für die Vernetzungslinien als auch für die Retention von höchster Bedeutung. In den Überschwemmungsgebieten ist die vorrangige Umsetzung von Gewässerrandstreifen, Gehölzsäumen (Bachuferwäldern) und Bruch- und Sumpfwäldern geplant.

Dennoch sind die höheren Bereiche der Fluß- und Bachtäler offenzuhalten und deren Grünlandnutzung zu sichern. Im Überflutungsbereich ist die Umwandlung der Acker- in extensive Grünlandflächen, Feucht- und Naßwiesen anzustreben. Die Umsetzung erfolgt mittels Förderprogrammen (vgl. Kap. 3). Durch auftretende Nutzungskonflikte mit der Landwirtschaft hängt die Umsetzung dieser Planungsziele stark von der konzeptionellen, kooperativen und diplomatischen Arbeit der Planungsbehörden ab.

Ferner sind die Überschwemmungsgebiete von Siedlungs- und Gewerbeflächen freizuhalten.

Auch die ackerbauliche Nutzung der Hanglagen kann zu verstärkter Erosion führen. In Verbindung mit dem hohen Flächenbedarf für die Grünfütterversorgung des Tierbestandes im Untersuchungsgebiet ist eine Umwandlung in Grünland wünschenswert. Ein Mittel der Umsetzung kann dabei die Bodenneuordnung sein. Gegebenenfalls sind Aufforstungen durchzuführen.

Um eine Verbesserung des Landschaftsbildes für den Erholungs- und touristischen Wert der Region zu erreichen, ist die Förderung von vielfältigen Strukturen wie Gehölzsäumen und Streuobstwiesen Ziel der Planungen. Aus naturschutzfachlicher Sicht werden diese durch die Sicherung und Entwicklung unter anderem von mageren Wiesen und Weiden sowie von Halbtrockenrasen ergänzt.

2.5.3 Planungen einzelner Regionen

Betrachtet man die einzelnen Regionen des Einzugsgebietes genauer, stellt man neben den Gemeinsamkeiten auch Unterschiede in der jeweiligen Planung fest. Infolgedessen scheint es sinnvoll, das Gebiet detaillierter zu untersuchen.

So ist für den *Bereich Kaiserslautern* vorgesehen, seine wirtschaftliche und infrastrukturelle Leistungsfähigkeit zu sichern und weiter auszubauen. Erreicht werden soll dies durch eine Verdichtung gewerblicher Arbeitsplätze, das heißt durch die Ansiedlung und/oder Erweiterung von kleineren und mittleren Betrieben (vgl. PGW 1990, 84). In erster Linie führt dies zu einer deutlichen Siedlungsentwicklung auf Kosten der angrenzenden Frei-

⁶ Für die Überschwemmungsgebiete Odenbach ist das Festsetzungsverfahren noch nicht abgeschlossen.

flächen. Als weitere Folge sind die für den Fremdenverkehr und die Naherholung besonders geeigneten Gebiete auszubauen (ebd.). Letzteres bedeutet eine Erweiterung der Infrastruktur und eine Anreicherung der Freiflächen mit vielfältigen Strukturen wie Saumgehölzen, Ackerrandstreifen oder Streuobstbeständen. Unabhängig von einer räumlichen Entwicklung ist die Förderung der Niederschlagsversickerung und –verdunstung für den Wasserhaushalt von Bedeutung.

Die *Mittelbereiche Landstuhl und Kusel* werden den strukturschwachen Räumen zugeordnet, wobei deren prognostizierte bzw. geplante Entwicklung deutliche Unterschiede aufweist. Gemeinsam ist den beiden Mittelbereichen, daß Maßnahmen zur Steigerung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit, der Konkurrenzfähigkeit und der Attraktivität zu ergreifen sind (vgl. PGW 1990, 84f). So wird für die Landstuhler Senke durch die Nähe zu Kaiserslautern und der günstigen Anbindung an die Infrastruktur eine Ansiedlung und/oder Erweiterung von kleinen und mittleren Betrieben erwartet. Dies führt über die Verbesserung des Arbeitsplatzangebots zu einer starken Siedlungsentwicklung (ebd.).

Darüber hinaus ist in diesem Bereich die Festsetzung des regionalen Grünzuges für die zukünftige Entwicklung entscheidend. So ist hier eine Bebauung nur unter erschwerten Bedingungen durchsetzbar. Gerade die Restflächen der Zwischenmoore und Moorheiden sowie die extensiv genutzten Feucht- und Naßwiesen erhalten hier einen besonderen Schutz.

Im Gegensatz dazu wird für den *Mittelbereich Kusel* eher ein Bevölkerungsschwund befürchtet, so daß eine Stärkung des dominierenden, produzierenden Gewerbes durch industriell-gewerbliche Arbeitsplätze im Vordergrund steht. Ferner sollen die für den Fremdenverkehr und die Naherholung besonders geeigneten Gebiete ausgebaut werden. Dabei sind in erster Linie vorhandene Brachflächen wieder aufzuforsten (vgl. PGW 1990, 85). Des weiteren wird hier gesonderten Wert auf die Entwicklung der mageren Wiesen und Weiden sowie der Streuobstbestände gelegt.

3 Förderprogramme

Politische Ziele und Planungen bilden in der Regel die Grundlage für eine Förderpolitik, die wiederum Mittel für Förderprogramme bereitstellt. Ziel ist es, eine bestimmte Entwicklung in der Region zu induzieren. Zum Beispiel sollen Aufforstungsprogramme die Förderung der Landnutzungs-kategorie Wald bzw. Forst in der Regel auf Kosten der landwirtschaftlichen Nutzfläche erreichen. Im weiteren Verlauf können Förderprogramme durch die Unterstützung bestimmter Entwicklungen die räumliche Verteilung sowie die absoluten Anteile der Landnutzungen beeinflussen und damit verändern. Je nach Höhe und Auf-fächerung der Förderung sowie ihrer Annahme durch die Bevölkerung ist der Einfluß der verschiedenen Programme unterschiedlich hoch.

Landnutzungsänderungen sollen in dieser Arbeit durch Landnutzungsszenarien im Einzugsgebiet des Glan simuliert werden. Aufgrund geringer privater Investitionen bilden hier insbesondere Förderprogramme neben den politischen und planerischen Rahmenbedingungen eine wichtige Grundlage, auf der die Szenarien erstellt werden. Darüber hinaus können nach einer entsprechenden Auswertung und Interpretation Hinweise auf sinnvolle oder fehlende Förderprogramme gemacht werden. Dabei ist es nicht Sinn und Zweck, die existierenden Förderprogramme zu evaluieren. Es kann im Rahmen dieser Arbeit nicht festgestellt werden, wie effektiv sich welche Förderprogramme auf welche Landnutzungs-änderung auswirken bzw. wie sie sich generell auswirken. Dazu wären weitergehende Analysen aus sozial- und wirtschaftswissenschaftlicher Sicht notwendig.

In diesem Kapitel richtet sich der Blickwinkel daher in erster Linie auf Förderprogramme, die potentiell Landnutzungen verändern bzw. stärken oder schwächen. Dabei werden ökonomische Zusammenhänge zwar berücksichtigt, allerdings kann ohne eine genauere Analyse keine Beurteilung erfolgen. Nach einer Zusammenstellung der wichtigsten Förder-möglichkeiten durch die EU erfolgt eine Darstellung der Programme in Rheinland-Pfalz. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem Agrarsektor, da dessen Bedeutung für die räumliche Verteilung als besonders hoch eingeschätzt wird.

3.1 Förderung durch die Europäische Union

Die deutsche Förderpolitik richtet sich heutzutage in vielen Dingen nach europäischen Vorgaben; so auch in der Agrarpolitik. Die Land- und Forstwirtschaft spielt als raumbedeutsamste Landnutzung eine entscheidende Rolle (vgl. Kap. 4). Im folgenden werden daher die für diese Arbeit wichtigsten europäischen Förderprogramme und Gemeinschafts-initiativen vorgestellt, bevor auf die nähere Situation in Rheinland-Pfalz bzw. im Einzugs-gebiet des Glan eingegangen wird.

3.1.1 Strukturfonds der EU

Die Umsetzung der Strukturpolitik erfolgt mittels vorrangiger struktureller Ziele, denen nationale Förderprogramme zugeordnet werden. Die Programme müssen dazu von der EU anerkannt werden. Die Finanzierung bzw. Unterstützung der Förderprogramme erfolgt je nach Maßnahme durch die verschiedenen Strukturfonds der EU. Diese tragen z.B. durch Investitionen in die Infrastruktur und Ausbildungsvorhaben in weniger wohlhabenden Regionen zur Stärkung der dortigen Wirtschaft bei.

Mit der Agenda 2000 erfolgte neben der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik eine Reform der Strukturpolitik. Die Zusammenstellung der Förderprogramme in diesem Kapitel baut auf der Ausgangslage der Strukturfonds auf, da zum Zeitpunkt der Bearbeitung noch keine Informationen zur Neuauflage der nationalen Programme vorlagen. Es wird jedoch davon ausgegangen, daß sich zwar die Struktur und der Verwaltungsaufwand der Fonds und damit der Förderprogramme verändern, jedoch die Ziele der Programme keine wesentliche Änderung erfahren. Aus Gründen der Aktualität werden die bereits bekannten Neuerungen dennoch erwähnt.

Ausgangslage

In der Europäischen Union (EU) standen bis zum Jahr 2000 folgende Ziele im Vordergrund, die als Grundlage für nationale Förderprogramme in Frage kamen (vgl. ISB 1999a, 15; RIDINGER 1996, 139f):

- Ziel 1: Förderung der strukturellen Anpassung von Regionen mit deutlichem Entwicklungsrückstand*
- Ziel 2: Unterstützung für Gebiete, die von rückläufiger industrieller Entwicklung betroffen sind*
- Ziel 3: Bekämpfung der Langzeitarbeitslosigkeit und Erleichterung der Eingliederung von Jugendlichen und der vom Ausschluß aus dem Arbeitsmarkt bedrohten Personen in das Erwerbsleben*
- Ziel 4: Erleichterung der Anpassung der Arbeitskräfte an die industriellen Wandlungsprozesse und an Veränderungen der Produktionssysteme*
- Ziel 5a: Beschleunigte Anpassung der Agrarstrukturen (Erzeugungs-, Bearbeitungs- und Vermarktungsstrukturen) und der Fischereistrukturen*
- Ziel 5b: Erleichterung der Entwicklung und der Strukturanpassung der ländlichen Gebiete*
- Ziel 6: Unterstützung extrem dünn besiedelter Regionen*

Für eine Förderung nach den Zielen 1, 2, 5b und 6 wurden bis zum Jahr 2000 regional differenzierte Fördergebiete festgesetzt. Im Einzugsgebiet des Glan kamen Fördermittel für

die Ziele 2 und 5b in Betracht. Dabei gehörte der Landkreis Kusel zu den anerkannten Ziel-5b-Gebieten, während Teile der kreisfreien Stadt Kaiserslautern und des Landkreises Kaiserslautern zu den anerkannten Ziel-2-Gebieten gezählt wurden (vgl. ISB 1999a, 110). Die Maßnahmen im Rahmen der Ziele 3, 4 und 5a erfolgten unabhängig von bestimmten Regionen und konnten sich somit auf das gesamte Gebiet erstrecken (vgl. RIDINGER 1996, 141). Für diese Arbeit spielt davon das Ziel 5a eine Rolle.

Die finanzielle Förderung erfolgt nach wie vor im Rahmen von Strukturfonds. Dabei greifen nationale Förderprogramme, die auf die einzelnen Ziele hin konzipiert sind, auf die Mittel von z.T. mehreren Fonds zu. Die Vergabe der Fördermittel erfolgt ausschließlich im Rahmen von nationalen Förderprogrammen, die von der EU anerkannt wurden. Zudem gibt es neben den Förderprogrammen sog. Gemeinschaftsinitiativen, die zum einen aus der Initiative der Europäischen Kommission heraus festgelegt werden und zum anderen einen besonderen Gestaltungsspielraum bieten. In Gemeinschaftsinitiativen kommen gemeinsame Aktionsschwerpunkte zum Ausdruck, wie in neuerer Zeit der Einstieg der Europäischen Kommission in die Raumordnungspolitik. Dennoch galt der Aufwand zur Antragstellung der Förderung hier bislang als sehr hoch (vgl. RIDINGER 1996, 142ff). Für das Einzugsgebiet des Glan spielten im Rahmen dieser Arbeit folgende Gemeinschaftsinitiativen der EU eine wichtige Rolle (ebd.):

- LEADER II: Unterstützung innovativer und übertragbarer Strategien für die ländliche Entwicklung mit Modellcharakter (vgl. MIS 1998, 129)
- KONVER: Diversifizierung von Regionen mit besonders starker Abhängigkeit von Rüstungsausgaben (Gebiete mit bisher starker Militärpräsenz, Gebiete mit hohem Anteil der Rüstungsindustrie)
- KMU: Unterstützung vor allem für Kleinbetriebe, sich an die Anforderungen des Binnenmarktes und ein verändertes Wettbewerbsumfeld anzupassen

Dabei wurden die Gemeinschaftsinitiativen KONVER und KMU mit der Agenda 2000 abgeschafft (vgl. 64). Zum Zeitpunkt der Bearbeitung kann noch nicht abgesehen werden, wie sich das auf die nationalen Förderprogramme auswirkt.

Auswirkungen auf die räumliche Verteilung der Landnutzung im Einzugsgebiet des Glan haben vor allem der Europäische Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und Europäische Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft (EAGFL), ebenso wie die Gemeinschaftsinitiativen LEADER II und KONVER. Die Maßnahmen der Gemeinschaftsinitiative LEADER II stellten eine Ergänzung zur Förderung von Ziel-5b-Gebieten dar. Inzwischen wird die Initiative dem neuen Ziel 2 zugeordnet (vgl. 65). Zum Zeitpunkt der Bearbeitung lagen noch keine Erkenntnisse über daran angepaßte nationale Förderprogramme vor. In folgender Tabelle 3-1 erfolgt daher eine Aufstellung, welche nationalen

Programme und Initiativen vor der Agenda 2000 durch diese Fonds finanzielle Fördermittel erhielten und mit welchen Maßnahmen und Programmteilen diese assoziiert werden (vgl. ISB 1999a, 15f). Es wird davon ausgegangen, daß sich bezüglich der Ziele der neuen Programme keine wesentlichen, raumbedeutsamen Auswirkungen ergeben.

Tabelle 3-1: Räumlich bedeutsame Programme und Gemeinschaftsinitiativen der Strukturfonds der EU vor der Agenda 2000 (vgl. ISB 1999a, 15f)

Struktur-fonds	Programme / Gemeinschaftsinitiativen	Maßnahmen / Programmteile
EFRE	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklungs- und Umstellungsprogramm für Industriegebiete mit rückläufiger Beschäftigung gemäß Ziel Nr. 2 • Entwicklungsprogramm für strukturschwache ländliche Gebiete gemäß Ziel Nr. 5b • Gemeinschaftsinitiative für strukturschwache ländliche Gebiete (LEADER) • Gemeinschaftsinitiative für Rüstungs- und Standortekonversion (KONVER) 	<ul style="list-style-type: none"> • Betriebliche Investitionen für die Schaffung und Erhaltung von Dauerarbeitsplätzen • Ausbau und Verbesserung der wirtschaftsnahen Infrastruktur • Weiterentwicklung des Fremdenverkehrs (z.B. Urlaub auf dem Bauernhof) • Förderung technologischer Entwicklungen • Umweltschutzinvestitionen • Stärkung des endogenen Potentials (durch Studien, Modellvorhaben, Technologietransfer etc.)
EAGFL Abteilung Garantie	<p>Ausgaben der klassischen Agrarmarkt- und Agrarpreispolitik der EU und deren flankierenden Maßnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erstattung bei der Ausfuhr nach Drittstaaten • Interventionen zur Regulierung der Agrarinnenmärkte • Stützungsregelungen für Erzeuger bestimmter landwirtschaftlicher Kulturpflanzen und Halter bestimmter landwirtschaftlicher Nutztiere • Agrarstruktur- und agrarumweltpolitische Maßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Getreide, Ölsaaten, Eiweißpflanzen und Öllein • Rinder, Mutterkühe • z.B. FUL • z.B. Erstaufforstungsprämie

Struktur- fonds	Programme / Gemeinschaftsinitiativen	Maßnahmen / Programmteile
EAGFL Abteilung Ausrichtung	Ausgaben im Rahmen der gemeinsamen Agrarstrukturpolitik: <ul style="list-style-type: none"> • Förderprogramm zur Erneuerung und Anpassung der Produktionsstrukturen in landwirtschaftlichen Unternehmen sowie zur Stützung der landwirtschaftlichen Einkommen gemäß Verordnung (EG) Nr. 950/97 (Ziel Nr. 5a) • Förderprogramm zur Verbesserung der Verarbeitungs- und Vermarktungsbedingungen landwirtschaftlicher Erzeugnisse nach Verordnung (EG) Nr. 951/97 (Ziel Nr. 5a) • Entwicklungsprogramm für strukturschwache ländliche Gebiete gemäß Ziel Nr. 5b • Förderung nach der EU-Gemeinschaftsinitiative LEADER II zur lokalen Entwicklung im ländlichen Raum 	<ul style="list-style-type: none"> • Agrarinvestitionsförderungsprogramm (AFP) • Prämien für die erstmalige Niederlassung von Junglandwirten • Ausgleichszulage in den benachteiligten Gebieten • Verbesserung der Marktstruktur • Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ • Bodenneuordnungsverfahren • Dorferneuerung • Forstmaßnahmen • Umstellung auf umweltgerechte Erzeugung und alternative Einkommensmöglichkeiten (GfL 1998, 17) • Dorferneuerung • Örtliche Erschließung und Vermarktung der heimischen Land- und Forstwirtschaft • Erzeugung alternativer Energie aus nachwachsenden Rohstoffen

Näheres zu den nationalen Programmen und Programmteilen, die für diese Arbeit relevant sind, wird im Kapitel 3.2 beschrieben.

Strukturreform im Rahmen der Agenda 2000

Die Reform von 1999 zielt auf eine Steigerung der Effizienz der strukturpolitischen Instrumente ab, wobei sie an die Elemente der ehemaligen Strukturpolitik anknüpft. Die Effizienzsteigerung soll in erster Linie durch eine Reduzierung der vorrangigen Ziele und Gemeinschaftsinitiativen, durch die Verbesserung der Verwaltung und der Zuständigkeitsverteilung erreicht werden (vgl. SCADPLUS 2000b, 3). Die Folge ist ein konzentrierter, effizienter und vereinfachter Einsatz der damit verbundenen Fördermittel der Strukturfonds.

Bei der Reform der Strukturziele wurde das Ziel der Entwicklung des ländlichen Raumes als eigenständiges Ziel 5b aufgegeben und mit anderen Förderzielen zum neuen Ziel 2 zusammengefaßt (vgl. SCADPLUS 2000b, 3).

- Ziel 1: Förderung der Entwicklung und strukturellen Anpassung von Regionen mit Entwicklungsrückstand (ehemalige Ziele 1 und 6)
- Ziel 2: Förderung der wirtschaftlichen und sozialen Umstellung von Regionen mit Strukturproblemen außerhalb von Ziel 1 (ehemalige Ziele 2 und 5b)
- Ziel 3: Förderung von Maßnahmen zur Entwicklung der Humanressourcen außerhalb des Ziels 1 (Bildung und Beschäftigung) (ehemalige Ziele 3 und 4)

Für die Förderung nach den Zielen 1 und 2 wurden bzw. werden Fördergebiete festgelegt, während das Ziel 3 die restlichen Regionen umfaßt (EUROPÄISCHE KOMMISSION 1999b, 9 u. 12). Ferner wurden die Gemeinschaftsinitiativen von bisher 13 auf 4 reduziert (vgl. SCADPLUS 2000b, 3; EUROPÄISCHE KOMMISSION 1999a, 13):

INTERREG: Transnationale, grenzübergreifende und interregionale Zusammenarbeit zur Förderung einer ausgewogenen Entwicklung des europäischen Raums

URBAN: Wirtschaftliche und soziale Umstellung von Krisenstädten

LEADER+: Entwicklung des ländlichen Raums

EQUAL: Transnationale Zusammenarbeit zur Ermittlung neuer Methoden zur Bekämpfung von Diskriminierung und Ungleichbehandlung aller Art, die Männer und Frauen daran hindern, Arbeitsplätze zu finden

Von den nun vier neuen Gemeinschaftsinitiativen kann die räumliche Entwicklung des landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebietes des Glan insbesondere durch die Gemeinschaftsinitiative LEADER+ Einfluß ausgeübt werden.

Für die Zuordnung der Strukturfonds zu den vorrangigen Zielen und Gemeinschaftsinitiativen ergibt sich nach der Reform folgendes Bild:

Zu erwähnen ist ferner, daß 69.7 % der Gesamtausgaben an Regionen mit Entwicklungsrückstand, d.h. an das Ziel 1 geknüpft sind, während für die Ziele 2 und 3 jeweils 11.5 % und 12.3 % der Mittel bestimmt sind. Die restlichen Mittel teilen sich auf die Gemeinschaftsinitiativen (5.35 %) und sonstige Maßnahmen auf (1.15 %), wobei die Mittelausstattung bis 2006 etwa gleichbleibend ist (vgl. SCADPLUS 2000b, 5f).

Tabelle 3-2: Geförderte Maßnahmen nach der Agenda 2000 (vgl. EUROPÄISCHE KOMMISSION 1999b, 1-4)

Maßnahmen	
Investitionen in landwirtschaftliche Betriebe	Verbesserung der Lebens-, Arbeits- und Produktionsbedingungen durch Modernisierung mit Hinblick auf eines oder mehrere der folgenden Ziele: <ul style="list-style-type: none"> - Senkung der Produktionskosten - Verbesserung der Qualität der Erzeugnisse - Erhaltung und Verbesserung der Umwelt - Erfüllung der Anforderungen von Hygiene und Tierschutz - Förderung der Diversifizierung landwirtschaftlicher Tätigkeiten
Verarbeitung und Vermarktung landwirtschaftlicher Erzeugnisse	<ul style="list-style-type: none"> - Ausrichtung der Erzeugung an der Marktentwicklung - Erschließung neuer Absatzmöglichkeiten - Wertschöpfung landwirtschaftlicher Erzeugnisse
Humanressourcen	<ul style="list-style-type: none"> - Niederlassungsbeihilfe von Junglandwirten - Vorruhestandsbeihilfe - Ausbildung (insbesondere Qualitätserzeugnisse und umweltfreundliche Produktionsverfahren)
Agrarumweltmaßnahmen	Die vorgesehenen Beihilfen werden Landwirten gewährt, die sich für mindestens 5 Jahre verpflichten, umweltverträgliche und landschaftsschützende Erzeugungsverfahren (Agrarumweltmaßnahmen) anzuwenden.
Wälder	Maßnahmen zur Erhaltung und Verbesserung der ökologischen, wirtschaftlichen und der gesellschaftlichen Funktion des Waldes
Benachteiligte Gebiete / Gebiete mit umweltspezifischen Einschränkungen	Ausgleichszulagen für Betriebe in <ul style="list-style-type: none"> - benachteiligten Gebieten (Berggebiete, Bedrohung durch Aufgabe der Landnutzung, andere spezifische Nachteile) und in - Gebieten mit umweltspezifischen Einschränkungen (z.B. Schutzgebiete)
Artikel-33-Maßnahmen¹	Sonstige Maßnahmen für die integrierte Entwicklung der ländlichen Gebiete (z.B. Flurbereinigung, Dorferneuerung, Fremdenverkehr)

¹ Verordnung (EG)1257/1999 des Rates vom 17. Mai 1999 über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft (EAGFL) und zur Änderung bzw. Aufhebung bestimmter Verordnungen

Bei der Aufstellung der Maßnahmen nach der Agenda 2000 (vgl. Tabelle 3-2) kann man erkennen, daß sich im wesentlichen keine neuen Förderungsmöglichkeiten ergeben haben. Insgesamt besteht eine Neuerung in der Verpflichtung, Agrarumweltmaßnahmen in die nationalen Programme aufzunehmen. Dies soll die umweltpolitische Verantwortung der Landwirtschaft als eigenen Schwerpunkt in der Entwicklung der ländlichen Räume betonen.

3.1.2 Gemeinsame Agrarpolitik im Rahmen der Agenda 2000

Die politischen Inhalte und die Bedeutung der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU sowie der Agenda 2000 werden im Kapitel 2 näher erläutert. Dabei enthält die Agenda 2000 auch Teile, welche deren wirtschaftliche Folgen in besonders betroffenen Gebieten wie dem Einzugsgebiet des Glan dämpfen. Die wichtigsten Regelungen sollen im folgenden kurz aufgeführt werden.

Stützungsregelung

Bedingt durch die Agrarpolitik der EU kommt es zu einer schrittweisen Angleichung der gemeinschaftlichen Preise von bestimmten landwirtschaftlichen Kulturpflanzen an die Weltmarktpreise (vgl. Kap. 2.1.1). Dieses verbesserte Marktgleichgewicht führt jedoch über die Senkung der institutionellen Preise zu Einkommenseinbußen der Landwirte. Um die Auswirkungen der Preissenkungen abzuschwächen, wird durch die Stützungsregelung die Erzeugung dieser landwirtschaftlichen Kulturpflanzen gefördert. Es handelt sich dabei um Getreide, Ölsaaten, Eiweißpflanzen und Öllein (vgl. ISB 1999a, 86f). Ähnliches gilt auch für Milch und die Prämienzahlungen für Rindfleisch, Mutterkühe und –schafe (vgl. 78). Im Gegensatz zur Agrarreform von 1992 wird die Senkung der Preisstützung jedoch nur teilweise durch direkte Prämienzahlungen ausgeglichen (vgl. MIS 1998, 132; LANDTAG RLP 1998, 141). Außerdem werden letztere inzwischen an bestimmte Voraussetzungen wie die Berücksichtigung der Belange des Umweltschutzes geknüpft (vgl. LANDTAG RLP 1999, 37).

Hauptkritikpunkte an der Agenda 2000 sind aus rheinland-pfälzischer Sicht die Steigerung der Bürokratie für Landwirte und Verwaltungen, die steigende Abhängigkeit der Landwirte von Einkommensbeihilfen sowie das Fehlen von Konzepten zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit (vgl. MIS 1998, 132; LANDTAG RLP 1998, 144).

Stillegungsprämien

Bereits mit der Agrarreform von 1992 wurde die Flächenstillegung als Instrument der Produktionsbegrenzung eingeführt. Die obligatorische Stillegungsquote, bei der eine Ausgleichszahlung erbracht wird, ist bis zum Jahr 2006 auf 10 % festgesetzt. Dabei ist weder eine Erzeugung von Futter- noch von Nahrungsmitteln gestattet, während bei Anbau von nachwachsenden Rohstoffen die volle Prämie ausgezahlt wird (vgl. LANDTAG RLP 1999, 35). Die Stillegungsprämie für 2000 ist identisch mit der Flächenprämie für Getreide (vgl. SCADPLUS 2000a, 4).

3.2 Förderprogramme in Rheinland-Pfalz

Aus Tabelle 3-1 kann man ersehen, daß die nationalen Förderprogramme oftmals auf die Strukturfonds der EU zugeschnitten sind. Durch das Land Rheinland-Pfalz erfolgt in diesen Fällen eine Teilfinanzierung. Daneben existieren landeseigene Programme, deren Ziele sich häufig auf Richtlinien der EU beziehen. Die Zielsetzungen der Programme sind daher vielfältig.

Die landeseigene Investitions- und Strukturbank Rheinland-Pfalz (ISB) GmbH führt die Programme durch und gewährt in ihrem Namen Zuschüsse, zinsgünstige Darlehen, Beteiligungen, Wagniskapital und Bürgschaften für förderungswürdige Vorhaben. Die Finanzierung erfolgt dabei aus eigenen und aus Mitteln des Landeshaushaltes (vgl. ISB 1999b, 1).

Im folgenden soll auf die wichtigsten Förderprogramme eingegangen werden, die Einfluß auf mögliche Landnutzungsänderungen im Einzugsgebiet des Glan haben können.

3.2.1 Regionalförderung

Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur“

Da das Einzugsgebiet des Glan zu den *benachteiligten Gebieten* gezählt wird (vgl. Kap. 1.5.1, *Gebietstypen*), erfüllt es die Voraussetzungen für spezielle Förderprogramme. Dazu muß entweder die Wirtschaftskraft erheblich unter dem Bundesdurchschnitt liegen oder es müssen gravierende sektorale Strukturprobleme bestehen (vgl. ISB 1999a, 7). Im 27. Rahmenplan der Gemeinschaftsaufgabe *Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur* (GA) wurden die Landkreise Kusel und Kaiserslautern und einzelne Stadtteile der kreisfreien Stadt Kaiserslautern in das Fördergebiet aufgenommen (vgl. MIS 1998, Karte 2.5.a). Die Gemeinschaftsaufgabe dient der regionalen Wirtschaftsförderung. Dabei werden durch räumliche und sachliche Schwerpunkte günstige Voraussetzungen für strukturverbessernde Maßnahmen geschaffen. Ziel ist eine sich selbst tragende dynamische Wirtschaftsentwicklung zur Herstellung gleichwertiger Arbeits- und Lebensbedingungen in allen Teilen der BRD (ebd. 29).

Bei der Gemeinschaftsaufgabe *Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur* geht es besonders im ländlichen Bereich des Untersuchungsgebietes in erster Linie um die Förderung des Tourismus. Ein strategisches Tourismuskonzept sieht hier die Möglichkeit, die Landschaftsvielfalt und die Kultur, die in Rheinland-Pfalz eng mit dem Weinanbau verknüpft ist, sowie den Kur- und Bäderbetrieb als Markenzeichen zu nehmen. Zusätzlich werden Projekte gefördert, die den Fremdenverkehr in den Ziel-5b-Gebiete z.B. durch „Urlaub auf dem Bauernhof“ ankurbeln (vgl. MIS 1998, 87).

Gefördert werden sowohl einzelbetriebliche Investitionsvorhaben wie Errichtung, Ausbau, Umstellung oder grundlegende Rationalisierung als auch die wirtschaftsnahe Infrastruktur (vgl. MIS 1998, 29; ISB 1999a, 7). In der Regel wird für eine Förderung vorausgesetzt, daß das Vorhaben mit einer Schaffung von Dauerarbeitsplätzen verbunden ist (vgl. ISB 1999b, 10). Dabei ist zu beachten, daß die räumlich bedeutsamen Wirtschaftszweige Land- und Forstwirtschaft generell aus der Förderung durch die GA ausgeschlossen sind (vgl. ISB 1999a, 7). Hier existiert statt dessen das *Agrarinvestitionsförderprogramm* (AFP), das eine beständige Entwicklung der Landwirtschaft durch verbesserte Arbeits- und Produktionsbedingungen zum Ziel hat (vgl. ISB 1999a, 74f). Außerdem kann bei der erstmaligen Niederlassung eines Junglandwirtes in einem landwirtschaftlichen Haupterwerbsbetrieb eine Prämie bezogen werden (ebd. 76).

Im Rahmen dieser Arbeit sind die Gemeinschaftsaufgabe *Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur*, das *Agrarinvestitionsförderprogramm* (AFP) ebenso wie das *Regionale Landesförderprogramm* nur sekundär relevant. Letzteres fördert mittelständische Betriebe der gewerblichen Wirtschaft, die in Fördergebieten investieren (vgl. ISB 1999a, 11). Erwähnenswert sind diese Programme insofern, als daß über das Ankurbeln der Wirtschaft auch eine Veränderung der Landnutzung einhergehen kann. Allerdings kann zum

einen ohne genauere Analyse nicht beurteilt werden, welchen ökonomischen Einfluß die Förderprogramme auf die Region haben, zum anderen läßt sich die Information nicht direkt auf die Fläche umsetzen. Dies würde zusätzlich sozio-ökonomische Analysen erfordern. Die Informationen gehen daher nicht direkt in die Entwicklung der Szenarien ein.

Konversionsprogramm zur Bewältigung der Folgen der Abrüstung

Ziel des Konversionsprogrammes ist die Unterstützung der Gebiete, die militärisch besonders belastet sowie vom Truppenabbau betroffen sind und in denen die Abrüstung zu erheblichen wirtschaftlichen, arbeitsmarktpolitischen und infrastrukturellen Folgeproblemen geführt hat. Darüber hinaus soll die Förderung dem vom Truppenabbau betroffenen Personenkreis zugute kommen. Dies führt dazu, daß insbesondere Projekte zur zivilen Umnutzung militärischer Flächen und Einrichtungen sowie solche Projekte gefördert werden, die in strukturschwachen Regionen einen Beitrag zur Stärkung der Wirtschaft und des Arbeitsmarktes leisten (vgl. ISB 1999a, 12).

Die Bedeutung für diese Arbeit liegt weniger in den Fördermöglichkeiten als in der Planung, was mit den neu verfügbaren Flächen geschehen soll. Genaueres hierzu wurde im Kapitel 2 beschrieben.

Ausgleichszulage

In landwirtschaftlich benachteiligten Gebieten, zu denen das Einzugsgebiet des Glan gehört (vgl. Kap. 1), erhalten Landwirtschaftsbetriebe neben verbesserten Investitionsförderungen unter bestimmten Voraussetzungen auch Ausgleichszulagen (vgl. LANDTAG RLP 1998, 16). Gefördert wird die Haltung von Rindern, Ziegen oder Pferden mit der Bewirtschaftung von Futterflächen sowie von sonstigen förderfähigen Flächen. Ziel ist es, eine standortgerechte Agrarstruktur zu sichern, um ein Minimum an Bevölkerungsdichte zu erhalten. Weiter soll die Kulturlandschaft für Tourismus und Erholung gesichert werden, indem die Fortführung einer landwirtschaftlichen Tätigkeit aufrecht erhalten und deren Nachteile ausgeglichen werden (vgl. ISB 1999a, 77).

Obwohl 95 % der Haupteinwerbsbetriebe in benachteiligten Gebieten eine Ausgleichszulage erhalten, lag deren Gewinn 1996/1997 weiterhin unter dem Niveau von Betrieben in nicht benachteiligten Gebieten (vgl. LANDTAG RLP 1998, 120).

3.2.2 Förderung im Rahmen wasserwirtschaftlicher Planungen

Aktion Blau

Die Aktion Blau wurde 1994 als Umsetzung der AGENDA 21 an den Gewässern gestartet. Dabei wird sie als dynamisches Aktionsprogramm den bestehenden und zukünftigen Bedingungen und Herausforderungen permanent fortgeschrieben. So wurden inzwischen die Ziele der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie in die Konzeption eingearbeitet. Diese gilt mit ihrer Forderung nach flächendeckenden Flußgebietsplänen zum einen als rich-

tungsweisend zum anderen aber auch als Bestätigung für die bisherige Wasserwirtschaftspolitik in Rheinland-Pfalz (vgl. MfUF 1999, 9).

Die Leitziele der Aktion Blau liegen in erster Linie in der Erhaltung, dem Schutz und der Wiederherstellung der naturnahen Gewässerzustände sowie in der deutlichen Strukturverbesserung der Gewässer und der Auen (vgl. GfL 1998, 19). Die Gewässerentwicklung orientiert sich dabei an den anthropogenen Bedürfnissen wie dem ökologischen, dem ökonomischen und dem landschaftskulturellen Wohlstand (vgl. MfUF 1999, 5). Dabei wurden für die Jahre 2000 – 2005 folgende Hauptziele der Aktion Blau formuliert. In der Darstellung erfolgt bereits eine Erweiterung mit einigen Unterzielen und Umsetzungsmaßnahmen.

- *Fortentwicklung und Ausgestaltung der Grundwerte und Leitziele der Gewässerpflege und Gewässerentwicklung im Geiste der AGENDA 21*
- *Vervollständigung des wissenschaftlichen und technischen Instrumentariums zur effizienten naturnahen Pflege und Entwicklung der Gewässer in Rheinland-Pfalz*
- *Umsetzung der internationalen Hochwasseraktionspläne an Rhein und Mosel u.a. durch die Integration der Gewässerpflege und Gewässerentwicklung in zukünftige Flußgebietspläne*
- *heutiger potentiell natürlicher Gewässerzustand als Bewertungsmaßstab und Leitbild, d.h. Erreichung von größtmöglicher Struktur- und Funktionsverbesserung an möglichst vielen Gewässern in Rheinland-Pfalz durch naturnahe Gewässerpflege und -entwicklung*
 - ⇒ natürliche Gewässerdynamik und natürliche Gewässerregeneration
 - ⇒ natürliche Hochwasserretention; Hochwasserentlastung der Gewässerbetten
 - ⇒ Ausbildung typischer Gewässer- und Auenbiotope wie z.B. Auwald*u.a. durch Ausweisung von Gewässerrandstreifen und Überschwemmungsgebieten, durch das Naheprogramm sowie durch Gewässerrückbauprojekte und –pflegepläne)*
- *Gewässerverträgliche Auen- und Bodennutzung im Einzugsgebiet*
(vgl. MfUF 1999, 23; vgl. MfUF 1997, 19–73)

Für die Umsetzung der Aktion Blau wurden vier Aktionsschwerpunkte gebildet:

- 1) Methodenentwicklung
- 2) Datenbereitstellung
- 3) Flußgebietsentwicklungspläne
- 4) Umsetzung

In dem 1994 abgeschlossenen Bereich *Entwicklungskonzepte* wurden bundesweit bedeutende Bewertungs- und Planungsmethoden sowie Entwicklungskonzepte entwickelt (ebd. 11). Daneben wird das Flußsystem des Glan im Rahmen des *Flußgebietsplanes Nahe Rheinland-Pfalz* bei der Entwicklungsplanung mit berücksichtigt (ebd. 27). Für die Aufstellung von Szenarien ist insbesondere der Bereich *Umsetzung* interessant, da hier die raumbedeutsamen Veränderungen erfolgen. Unter diese fallen neben den bereits genannten z.B. die Ausweisung der geeigneten Gewässerstrecken zu *Vorrangstrecken der Gewässerentwicklung*, welche besonders intensiv naturnah zu entwickeln sind. Zur Umsetzung gehört ferner die Extensivierung der Landwirtschaft auf sensiblen Flächen einschließlich der Aufforstung (ebd.).

Die Aktion Blau wird zum einen durch das Land Rheinland-Pfalz direkt gefördert, zum anderen aber auch durch andere Programme wie z.B. das Naheprogramm, die Bodenordnung oder durch die EU.

Naheprogramm

Das Naheprogramm wurde anlässlich der Hochwasserereignisse im Winter 1993/94 im Frühjahr 1994 von den damaligen Ministerien für Umwelt¹ und für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten² verabschiedet. Es beinhaltet den gemeinsamen Förderschwerpunkt *Ökologisch standortgerechte Landnutzung, Renaturierung von Bachauen und Schaffung natürlicher Retentionsräume zum Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der Nahe* (vgl. MfUF 1997, 69). Dabei ist das übergeordnete Ziel des Naheprogramms eine Intensivierung der freiwilligen Renaturierung der Gewässer und seiner Auen zur Erhöhung der Retentionswirkung.

Das Konzept beinhaltet zum einen eine enge Kooperation der Institutionen und eine fachliche Betreuung sowie zum anderen auch erhöhte Investitionsmittel (ebd. 71). Die Nahe-Arbeitsgruppe setzt sich dabei aus Vertretern der Kommunen, der Land- und Forstwirtschaft, des Naturschutzes und der Landespflege sowie der Landwirtschaftsverwaltung zusammen. Ihre Aufgabe ist es, in Zusammenarbeit mit den Landbesitzern und Gebietskörperschaften vor Ort eine fachübergreifende Abstimmung der Planung und der Durchführung zu gewährleisten (vgl. MfUF/MfWVLW 1999, 3). Auf diese Weise wird das Naheprogramm auch als *konzentrierte Aktion der Wasserwirtschaft, der Bodenordnung, der Land- und Forstwirtschaft, der Dorferneuerung und der Landespflege* bezeichnet (vgl. KS/SAfWA o.J. 1). Dem Konzept zufolge soll die planerische Konzeption durch die Wasserwirtschaftsverwaltung und das Flächenmanagement durch die Landeskulturverwaltung erfolgen (vgl. MIS 1998, 181).

¹ heute: Ministerium für Umwelt und Forsten

² heute: Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau

Die Finanzierung des Naheprogramms erfolgt durch Fördermittel der beiden Ministerien und der Europäischen Union sowie aus Eigenleistungen der Gebietskörperschaften (vgl. MfUF 1997, 69). So wird beispielsweise beim Flächenmanagement ein erforderlicher Landerwerb mit bis zu 80 % gefördert. Daneben bestehen weitere Fördermöglichkeiten in der Ländlichen Bodenordnung, dem Förderprogramm Umweltschonende Landwirtschaft, der Förderung der Aufforstung landwirtschaftlich genutzter Flächen und der 20-jährigen Ackerstilllegung. Näheres hierzu siehe weiter unten. Das Naheprogramm gilt weiter als Bestandteil der Aktion Blau (vgl. 69). Ferner wurde es als regionaler Förderschwerpunkt in den Regionalplan für die Ziel-5b-Gebiete der EU-Strukturfonds aufgenommen (vgl. MfUF/MfWVLW 1999, 4f). Näheres hierzu wurde in Kapitel 3.1.1 beschrieben. Des Weiteren wurde beschlossen, die Politik des Naheprogramms auch über das Jahr 1999 hinweg weiterzuführen und das Programm fortzusetzen (vgl. MfUF/MfWVLW 1999, 30).

Das definierte Ziel des Naheprogramms (s.o.) besteht aus mehreren Teilzielen:

- 1) Renaturierung der Gewässer und Bachauen
- 2) Wiedergewinnung des Auen- und Flächenrückhaltes (Schaffung natürlicher Retentionsräume)
- 3) ökologisch standortgerechte Landnutzung

Für eine Übersicht über die Vielzahl an Umsetzungsmöglichkeiten wurden die wichtigsten Maßnahmen in folgender Tabelle 3-3 nach den Teilzielen eingeteilt. Die Umsetzungsmaßnahmen sind Bestandteil des Förderschwerpunktes Naheprogramm.

Tabelle 3-3: Maßnahmen im Naheprogramm (eigene Zusammenstellung)

Ziel	Maßnahmen	Wirkung
Gewässer	<ul style="list-style-type: none"> • Unterstützung einer natürlichen Gewässerentwicklung sowie die Renaturierung von Bachläufen • Einrichtung von Gewässerrandstreifen • Flußgebietsentwicklung zur Wiederherstellung natürlicher Gewässerstrukturen (Festsetzung von Vorranggebieten 1. für Gewässer- und Auenentwicklung, 2. für naturnahe Hochwasserretention, 3. für Bodenschutz und Niederschlagsrückhalt) • Gewässerpflegepläne 	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Minderung der Abflußleistung, Wasserrückhaltung ⇒ Minderung der Abflußleistung, der Erosion und des Schadstoffeintrags ⇒ Gewässer- und Auenentwicklung, Erhöhung der Hochwasserretention, Bodenschutz, Niederschlagsrückhalt ⇒ Darstellung und Koordinierung der Maßnahmen

Ziel	Maßnahmen	Wirkung
Aue	<ul style="list-style-type: none"> • Freihaltung und Sicherung von festgesetzten Überschwemmungsgebieten • Renaturierung der Bachauen und der natürlichen Auestrukturen, Ausweisung von Flächen zur Wiederbegründung von Auwäldern • Kleinere Maßnahmen zur Niederschlagsrückhaltung und –versickerung sowie Rückbau nicht mehr erforderlicher Versiegelung 	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Hochwasserretention, Schutz vor Veränderung der Retentionsräume ⇒ Wasserrückhaltung in den Auen, natürliches Regenerationsvermögen der Gewässer ⇒ Verbesserung des örtlichen Hochwasserschutzes durch Abflußminderung
Landnutzung	<ul style="list-style-type: none"> • Umwandlung von Acker- in Grünland- oder Waldflächen auf besonders sensiblen Flächen (z.B. Hanglagen und Auen) • Extensivierung bestimmter Grünlandflächen • Anlage von Böschungen und Rainen sowie Feldgehölzen • Einführung standortangepaßter Anbautechniken auf Ackerflächen (u.a. hangparallele Ackerfurchen und Wege) • Demonstrationsvorhaben der Landwirtschaft 	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Verminderung von Erosion und Nährstoffauswaschung ⇒ Vermeidung von Bodenverdichtungen, Verbesserung der Wasser- versickerung und –verdunstung ⇒ Verminderung von Erosion und Nährstoffauswaschung ⇒ Verminderung von Erosion, Vermeidung von Bodenverdichtungen, Verbesserung der Wasser- versickerung ⇒ Beratung der Landwirte vor Ort

Im Rahmen der flächenbedeutsamen Maßnahmen kommt der Ländlichen Bodenordnung eine besondere Bedeutung zu. Sie ist für die nutzungs- und eigentumsrechtlichen Voraussetzungen verantwortlich, indem sie zusammen mit den Grundstückseigentümern, der Landwirtschaft und den Maßnahmenträgern ein zielorientiertes Bodenmanagement durchführt. So ist die Umsetzung des Naheprogramms in hohem Maße vom Erfolg der Ländlichen Bodenordnung abhängig. Näheres dazu wird weiter unten erläutert.

3.2.3 Land- und forstwirtschaftliche Förderung

Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“

Die 1969 im Grundgesetz verankerte Gemeinschaftsaufgabe hat als zentrales Instrument der Agrarstrukturpolitik das Ziel, eine leistungsfähige, nachhaltige und auf künftige Anforderungen ausgerichtete Land- und Forstwirtschaft zu gewährleisten, die Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern und den Küstenschutz zu stärken (vgl. LANDTAG RLP 1999, 25). Dazu gehört außerdem die Verbesserung der Funktionsfähigkeit und der Lebensverhältnisse im ländlichen Raum. Der Rahmenplan umfaßt demnach einzelbetriebliche und überbetriebliche Maßnahmen der Agrarstrukturförderung wie z.B. die Förderung benachteiligter Gebiete, die Ländliche Bodenordnung sowie wasser- oder forstwirtschaftliche Maßnahmen (ebd.).

Aktion Grün

In der Aktion Grün wird eine Vielzahl an Förderprogrammen zusammengefaßt, die zum Ziel die Erhaltung und Schaffung von Lebensräumen für Mensch und Natur und die Umsetzung der Leitlinien der Naturschutzpolitik haben. Dies soll durch die Verknüpfung von Arten- und Biotopschutz mit der Landbewirtschaftung erreicht werden.

Zu den räumlich bedeutsamen Maßnahmen zählen unter anderem das Förderprogramm Umweltschonende Landbewirtschaftung (FUL), die Ländliche Bodenordnung, die Umsetzung eines naturnahen Waldbaus und die Renaturierung von Fließgewässern (vgl. GfL 1998, 20).

Ländliche Bodenordnung

Die *Leitlinien Ländliche Bodenordnung in Rheinland-Pfalz* (MfWVLW 1997) wurden zunächst für die Jahre 1995 bis 1999 verabschiedet, gelten jedoch nach wie vor in weiterentwickelter Fassung. Dabei bezieht sich die Weiterentwicklung in erster Linie auf eine Beschleunigung der Verfahren und nicht auf inhaltliche Veränderungen.

Die Ländliche Bodenordnung gilt als Erweiterung der traditionellen Flurbereinigung zu einem Instrument modernen Flächenmanagements für den ländlichen Raum. So war das Ziel der traditionellen Flurbereinigung vorwiegend eine Agrarstrukturverbesserung, während ein Gesamtkonzept für die Entwicklung des ländlichen Raumes fehlte. Mit der ländlichen Bodenordnung wird das Ziel der Sicherung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit einer nachhaltig umweltgerechten Landwirtschaft in Rheinland-Pfalz mit der Sicherung, Wiederherstellung und Entwicklung eines funktionsfähigen Naturhaushaltes verknüpft (vgl. GfL 1998, 19). Es dient als Instrument für die Unterstützung von Ordnungs- und Entwicklungsaufgaben im ländlichen Raum, also

- der Agrarstrukturverbesserung,
- dem Naturschutz und der Landschaftspflege (z.B. Umsetzung der Planung Vernetzter Biotopsysteme),
- den wasserwirtschaftlichen Maßnahmen wie z.B. der Renaturierung von Gewässern und deren Auen, den Uferrandstreifen sowie den Überschwemmungsgebieten (vgl. Kap. 3.2.2),
- der Infrastrukturverbesserung (Verkehrswege, Erschließung von Gewerbegebieten)
- den kommunalen Entwicklungsmaßnahmen (Dorferneuerung, Konversionsprojekten, Tourismus)
- und den Maßnahmen für die Erholung der Bevölkerung

gleichermaßen (vgl. MfWVLW 1997, 4 u. 7). Neben der Entflechtung von Nutzungskonflikten sowie der Sicherung natürlicher Ressourcen wird so eine optimale Nutzung des ländlichen Raumes erreicht. Die Bodenordnung behilft sich dabei vor allem Mitteln der Zusammenlegung, der Flurbereinigung, des (freiwilligen) Flächentausches und des Landerwerbs. Dies wiederum erfordert eine enge räumliche, sachliche und zeitliche Koordination und Abstimmung der verschiedenen Bodenneuordnungsverfahren mit den Planungen,

den Förderprogrammen, den Maßnahmenträgern und vor allem den betroffenen Bürgern (ebd. 7). Zu den Planungen zählen dabei Raum- und Landschaftspläne auf Landes- und regionaler Ebene, welche die räumlichen und sachlichen Schwerpunkte festlegen. Außerdem gehören dazu Fachplanungen wie z.B. die Planung Vernetzter Biotopsysteme, die Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung oder Agrarstrukturelle Entwicklungsplanungen (vgl. Kap. 2). Bei der Koordination der Bodenordnungsverfahren ist darüber hinaus eine Abstimmung der verschiedenen Förderinstrumente notwendig. Im Rahmen dieser Arbeit sind insbesondere folgende zu nennen:

- Aktion Blau/Naheprogramm (vgl. Kap. 3.2.2)
- Förderung einer umweltschonenden Landbewirtschaftung (FUL) (vgl. 75)
- Förderung der Erstaufforstung landwirtschaftlich genutzter Flächen (vgl. 79)
- Landtausch- und Pachtförderungsprogramm (LPFP) inkl. Verpachtungsprämie
- Förderung des Landankaufs in Bodenordnungsverfahren zur Neuanlage von Biotopen
- Biotopsicherungsprogramme
- Strukturfonds der EU in den Regionen der Ziel-5b-Gebiete (vgl. Kap. 3.1)

Bisherige Probleme der Agrarstruktur im Einzugsgebiet des Glan liegen vor allem in der Besitzersplitterung, in zu geringen Schlaglängen sowie in ungünstigen Hof-Feld-Entfernungen, so daß ein effizienter Einsatz von Großmaschinen durch den hohen Randstreifenverlust und übermäßige Rüst-, Wende- und Kontrollzeiten nicht erfolgen kann. Durch das Instrument der Ländlichen Bodenordnung wird infolge der Verbesserung der Flurstruktur in der Landwirtschaft eine Optimierung der Produktions- und Arbeitsbedingungen erreicht (GfL 1998, Z14).

Insgesamt ist das Ergebnis der Ländlichen Bodenordnung immer mit einer Änderung der räumlichen Landnutzungsverteilung verbunden. Sie stellt damit ein wichtiges Instrument bei der Umsetzung der Planungen und der daraufhin entwickelten Förderprogramme dar. Die Neuordnung der Landschaft erfolgt in Richtung der Ziele, welche neben der Agrarstrukturverbesserung vor allem in der Verbesserung des Naturhaushaltes liegen.

Förderprogramm Umweltschonende Landbewirtschaftung

Für die Verbesserung des Naturhaushaltes gibt es verschiedene Arten von Förderprogrammen. Zu den wichtigsten Kategorien gehören Biotop- und Artenschutzprogramme, die im Rahmen von Bewirtschaftungsverträgen zwischen 5- und 10- bis zu 20jähriger Vertragsdauer durchgeführt werden (vgl. ISB 1999a, 84).

In Rheinland-Pfalz gilt seit 1993 das Förderprogramm Umweltschonende Landbewirtschaftung (FUL) als EU-weit erstes Programm zur Umsetzung der flankierenden Maßnahmen der EG-Agrarreform 1992 (vgl. Kap. 2.1). Es beinhaltet sämtliche *Maßnahmen zur Einführung und Beibehaltung extensiver Erzeugungspraktiken aus Gründen des Umweltschutzes und der Erhaltung der natürlichen Lebensräume* (vgl. Tabelle 3-4). Das Ziel ist

dabei die Entlastung der Märkte zum einen durch Extensivierung und zum anderen durch eine dauerhafte Herausnahme von Ackerflächen aus der Produktion. Weiter sollen die Herstellung umweltverträglich erzeugter Produkte sowie die Schaffung von Biotopen und Naturschutzflächen gefördert werden. Letzteres soll zu einer Entwicklung eines vernetzten Biotopschutzsystems beitragen (vgl. ISB 1999a, 83). Konkret wird dies in erster Linie über die Einschränkung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln sowie des Viehbesatzes erreicht. Dabei erfolgt eine Kombination dieser Maßnahmen mit erosionshemmenden und bodenschonenden Anbautechniken (vgl. MfUF/MfWVLW 1999, 24).

Programmteile für den Artenschutz sind im FUL nicht enthalten. Hier ist z.B. das Artenhilfsprogramm „Gefährdete Wiesenbrüter“ zu nennen (vgl. GfL 1998, A16). Im Rahmen dieser Arbeit sind diese allerdings weniger relevant, da sie in der Regel keine großflächige Landnutzungsänderungen, die über das Maß einer Extensivierung hinausgehen, bewirken.

Tabelle 3-4: Programmteile des Förderprogrammes Umweltschonende Landbewirtschaftung (FUL) (vgl. ISB 1999a, 83)

Programmteil	Förderungsgegenstand	Zusatz
A	Einführung und Beibehaltung der integriert-kontrollierten Wirtschaftsweise im Landbau (Acker-, Gemüse-, Obst- und Weinbau) <ul style="list-style-type: none"> • auf allen Ackerflächen • auf höchstens 95 % der Ackerfläche und Anlage „ökologischer Ausgleichsflächen“ auf höchstens 20 % der Ackerflächen 	Variante 1 Variante 2
B	Einführung und Beibehaltung der ökologischen Wirtschaftsweise im Landbau (Acker-, Gemüse-, Obst- und Weinbau) <ul style="list-style-type: none"> • auf allen Ackerflächen • auf höchstens 95 % der Ackerfläche und Anlage „ökologischer Ausgleichsflächen“ auf höchstens 20 % der Ackerflächen 	Variante 1 Variante 2
C	<ul style="list-style-type: none"> • Extensivierung der Grünlandbewirtschaftung zur Rindfleisch- sowie Milchproduktion und zur Umstellung bzw. Ausweitung der Schaf-, Damwild- und/oder Pferdehaltung • Umwandlung von Ackerland in extensiv zu nutzendes Dauergrünland 	Grünland-variante 1
D	Umwandlung einzelner Ackerflächen in extensiv zu nutzendes Dauergrünland	Grünland-variante 4
E	Anlage von Saum- und Bandstrukturen auf Ackerflächen	
F	Extensivierung und Erhaltung ausgewählter Dauergrünlandflächen	Grünland-variante 2
G	Extensivierung bestehender oder neu anzulegender Streuobstwiesen	Grünland-variante 3
H	Anlage von Ackerrandstreifen (Ackerrandstreifenprogramm)	
I	20jährige ökologische Ackerflächenstilllegung (Öko-Stilllegung)	

Im Förderprogramm Umweltschonende Landbewirtschaftung (FUL) sind demnach vor allem die Biotopsicherungsmaßnahmen für extensives Grünland, Streuobstwiesen und Ackerrandstreifen enthalten. Für die damit einhergehenden Ertrags- und Qualitätsverluste

wird ein finanzieller Ausgleich gezahlt. Als eine Folge des Programms wurden 1997 fast 25 % der Dauergrünlandfläche in Rheinland-Pfalz extensiv bewirtschaftet, wovon wiederum etwa 17 % im Vorjahr von Acker- zu Grünland umgewandelt wurden (vgl. LANDTAG RLP 1998, 79).

Ab dem Jahr 2000 steht den Landwirten eine aktualisierte Fassung des FUL zur Verfügung. Die Änderungen beziehen sich jedoch in erster Linie auf die Handhabung des Programms für Landwirte und Bewilligungsbehörden. An den Programmteilen und seinen Zielen wurde im Prinzip nichts erneuert (vgl. MfUF/MfWVLW 1999, 24).

Dennoch sind laut der Planung der Vernetzten Biotopsysteme zusätzlich Programme für „Mager- und Feuchtgrünlandbiotope der Bachauen“ und für eine „Kulturlandschaft mit Obstbaumbeständen, Mageren Wiesen und Weiden mittlerer Standorte und Halbtrockenrasen“ wünschenswert (vgl. MfUF/LfUG 1997, 221).

Exkurs: Vertragsnaturschutz

Das Förderprogramm Umweltschonende Landbewirtschaftung (FUL) in Rheinland-Pfalz ist ein klassisches Beispiel für Vertragsnaturschutz. Dabei werden in einem Vertrag Bewirtschaftungsauflagen wie z.B. die Extensivierung in Form von Einschränkung der Düngung und des Viehbesatzes sowie ein finanzieller Ausgleich für die dadurch entstehenden Einkommenseinbußen festgelegt. In der Regel wird dadurch eine *normersetzende* Wirkung erreicht, d.h. die Verträge treten an die Stelle einer hoheitlichen Verordnung oder Satzung (vgl. GELLERMANN/MIDDEKE 1991, 458). Ziel ist es im allgemeinen, fortschreitenden Eingriffen in Natur und Landschaft und damit dem Arten- und Biotopschwund entgegenzuwirken sowie eine Verbesserung der ökologischen Bedingungen zu erreichen (ebd. 457).

Die Effektivität des Naturschutzes durch die getroffenen Verwaltungsmaßnahmen hängt nicht zuletzt von der Akzeptanz der Bürger und Landwirte ab. Der Vertragsnaturschutz wird daher vielerorts als günstiger Ansatzpunkt für eine Kooperation zwischen Landwirtschaft und Landespflege bzw. Naturschutz wahrgenommen (vgl. GfL 1998, 185). Damit schließt er nach dem umweltpolitischen Kooperationsprinzip eine bisher vorhandene Lücke, indem den Bewirtschaftern im Entscheidungsprozeß eine Partizipationsmöglichkeit gegeben wird (vgl. GELLERMANN/MIDDEKE 1991, 459). Die Mitentscheidungsbefugnis soll sich akzeptanz- und konsensfördernd auswirken, d.h. durch das (Ein-)Verständnis und die freiwillige Übernahme der Auflagen kommt es zu einer zuverlässigeren Durchführung der Maßnahmen durch die Bewirtschafteter. Die Folge ist außerdem, daß das Verfahren eine geringere Rechtsmittel- und Fehleranfälligkeit aufweist als dies bei hoheitlichen Beschlüssen der Fall ist (ebd.).

Das hat dazu geführt, daß der Vertragsnaturschutz auch in die Agrarpolitik, die mit dem Strukturwandel zu kämpfen hat (vgl. Kap. 4), Einzug gehalten hat (ebd. 458). Inzwischen wird es oft als selbstverständlich angesehen, daß für Extensivierung und Stillelegung gezahlt wird.

Den unbestrittenen Vorteilen des Vertragsnaturschutzes stehen aber auch deutliche Nachteile gegenüber. Neben der Überforderung der Verwaltungskapazitäten in personeller und fachlicher Hinsicht ist der Erfolg der Maßnahmen für den Naturschutz, der ja das Ziel des Ganzen darstellt, fraglich. Zum einen konnte bei einer Untersuchung eines Extensivierungsprogrammes in Schleswig-Holstein keine positive Auswirkung auf als anspruchlos geltende Wiesenvogelarten nachgewiesen werden (vgl. GELLERMANN/MIDDEKE 1991, 459). Zum anderen ist bei einer Vertragsdauer von 5 bis maximal 10 Jahren keine langfristige Sicherung der schutzwürdigen Flächen möglich, was das Konzept als Ganzes in Frage stellt. Grundsätzlich kommt spätestens in diesem Zusammenhang eine ganz andere Frage, nämlich die der Finanzierung hinzu. Wie sinnvoll ist es wirklich, einem Bewirtschafter für weniger Arbeit nahezu genauso viel Geld zur Verfügung zu stellen? Insbesondere wenn man bedenkt, daß das naturschutzfachliche Ziel nur unzureichend erfüllt werden kann. Kann man den landwirtschaftlichen Strukturwandel damit wirklich auffangen? Und wie soll das auf Dauer finanziert werden? Besonders problematisch erscheint die Finanzierungs- und Durchsetzungsfrage bei der „neuen“ Sichtweise, daß Naturschutz nicht durch einzelnen Objekt- oder Flächenschutz erreicht werden kann, sondern großflächig erfolgen muß (ebd. 460). Des weiteren fällt momentan der Bewirtschafter als Vertragspartner, dessen Interessen in der Regel den Naturschutzzielen entgegenstehen, die letzte Entscheidung über das Maß an naturschutzfähigen Maßnahmen (ebd. 459).

Ist es statt dessen nicht sinnvoller zu versuchen, den Konflikt zwischen Landwirtschaft und Naturschutz auf eine andere Weise zu lösen? Betrachtet man das Problem des landwirtschaftlichen Strukturwandels (vgl. Kap. 4), so scheint es angebracht, vorhandene Mittel für Alternativen und neue Konzeptionen auszugeben. In diesem Zusammenhang sind z.B. Marketing- oder Tourismusförderungen, „Hilfe-zur-Selbsthilfe“-Projekte oder Ähnliches erwähnt. Im Rahmen dieser Arbeit sei dieses Problem jedoch nur angerissen, da weitere Erörterungen genauere Analysen und Untersuchungen erfordern würden.

Förderung der Viehhaltung

Die Förderung der Viehhaltung ist im Rahmen dieser Arbeit deshalb interessant, da für die Futtermittelproduktion Grünlandflächen benötigt werden. Auf diese Weise wird indirekt eine Förderung des Grünlandes im Gegensatz zur ackerbaulichen Nutzung erreicht, was wiederum Einfluß auf die Verdunstung und Grundwasserneubildung nach sich ziehen

kann. Durch Verschieben der Fördersätze in den Bereich der Viehhaltung und –zucht können Landnutzungsänderungen erfolgen. Eine quantitative Erfassung ist ohne nähere Analyse allerdings nicht möglich. Für die Entwicklung der Szenarien dienen diese Programme dennoch als sinnvolle Hintergrundinformation.

Gefördert wird durch das Land Rheinland-Pfalz bzw. durch die EU die Rindfleischerzeugung in Form der Sonderprämie für Rindfleischerzeuger (Bullenprämie). Diese prämiiert die Schlachtung männlicher Bullen und Ochsen, wobei für eine extensive Tierhaltung ein Extensivierungszuschlag gezahlt wird. Im Gegensatz dazu wird bei der Mutterkuh- und Mutterschafprämie die Haltung von Mutterkühen bzw. -schafen zur Aufzucht von Kälbern bzw. Lämmern gefördert. Der Zweck ist dabei die Fleischerzeugung. Bei der Mutterkuhprämie ist die Auszahlung eines Extensivierungszuschlages möglich (vgl. ISB 1999a, 87f). Eine weitere Möglichkeit der Förderung der Viehhaltung ist eine *Zuwendung für die Ausweisung und Erschließung von Standorten für die landwirtschaftliche Tierhaltung im Außenbereich*. Auf diese Weise ist es möglich, Umweltbelastungen durch die Tierhaltung wie z.B. Lärm und Gestank zu reduzieren bzw. zu vermeiden. Die Erhaltung und Wiederherstellung intakter Wohnverhältnisse kann so ohne die Aufgabe der Tierhaltung erreicht werden (vgl. ISB 1999a, 82).

Förderung der Erstaufforstung

Ziel einer Förderung der Erstaufforstung ist die langfristige Entlastung der Agrarmärkte durch Herausnahme landwirtschaftlich genutzter Flächen aus der Produktion. Zudem soll damit ein Beitrag zur Klimaverbesserung und der Schaffung eines vernetzten Biotopschutzsystems geleistet werden, was wiederum den Erholungswert der Agrarlandschaften erhöht (vgl. ISB 1999a, 86). Darüber hinaus wird der Selbstversorgungsgrad mit Holz als einem umweltfreundlich nachwachsenden Rohstoff gesteigert.

Im Rahmen dieser Arbeit ist insbesondere die Förderung der Erstaufforstung von bisher landwirtschaftlich genutzten Flächen interessant, da ein direkter Einfluß dieser Landnutzungsänderung auf die Grundwasserneubildung und die Verdunstung zu erwarten ist (vgl. RENGER/WESSOLEK 1993, 123).

Eine Förderung der Erstaufforstung wird durch investive Maßnahmen und/oder in Verbindung mit den flankierenden Maßnahmen zur Agrarreform der EU 1992 erreicht. Seit 1975 wird im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe *Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes* bei reinen Laubholzkulturen bis zu 85 % Zuschuß zu den Kosten der Erstinvestition gewährt. Neben der investiven Förderung ist eine *Zuwendung zum Ausgleich von Einkommensverlusten aufgrund der Aufforstung bisher landwirtschaftlich genutzter Flächen (Erstaufforstungsprämie)* möglich. Gefördert werden insbesondere Laub- und Mischwälder mit maximal 70 % Nadelbaumfläche und standortgerechten Baumarten (vgl. GfL 1998, A18).

3.3 Zusammenfassung der Förderungsmöglichkeiten

Um festzustellen, welchen Einfluß Förderprogramme auf Landnutzungsänderungen haben können, ist es sinnvoll, sich klar zu machen, wie es zu solchen Veränderungen im allgemeinen kommt. Insbesondere die raumbedeutsamste Landnutzung Landwirtschaft richtet sich nach Kriterien, die der Markt vorschreibt. Dabei sind bei hohem Konkurrenzdruck zuerst Flächen mit Grenzerträgen wie z.B. Steilhänge oder Flächen mit für eine ackerbauliche Nutzung ungünstigen Bodenverhältnissen betroffen. Hier erfolgt nach dem Prinzip von Angebot und Nachfrage entweder eine Umwandlung in andere Nutzungen oder im Extremfall sogar die Aufgabe der Bewirtschaftung. Näheres zu diesen Zusammenhängen wird im Kapitel 4 beschrieben.

Förderprogramme greifen in dieses Gleichgewicht ein, so daß es durch sie zu einer Beeinflussung der Landnutzungsverteilung kommt. Planungen, die z.B. das Ziel einer flächendeckenden Bewirtschaftung verfolgen, führen zu Förderprogrammen, die unter anderem benachteiligte Gebiete oder die Preise für bestimmte Kulturpflanzen etc. stützen. Es kommt zu verschobenen Verhältnissen, die eine „Vorhersage“ der Landnutzungsentwicklung erschweren. Wenn auch ohne wirtschaftswissenschaftliche und gesellschaftliche Analyse die komplexen Zusammenhänge nicht erfaßt werden können, so kann aus der Untersuchung der Förderprogramme eine Tendenz erfaßt werden, die als Grundlage für die Entwicklung der Szenarien in Kapitel 5 dient. Förderprogramme gelten demnach als Möglichkeit, Landnutzung in bestimmte Richtungen zu beeinflussen und zu lenken. Schwerpunkt dieses Kapitels ist daher nicht die wirtschaftliche oder einzelbetriebliche Förderung, sondern Programme, die mehr oder weniger direkt Landnutzungen stärken oder andere schwächen und somit verändern können.

Förderprogramme in Deutschland richten sich in erster Linie nach den Vorgaben der EU, die in Form von nationalen oder regionalen Programmen konkretisiert werden. Dabei ist ein Ziel, die Lebensbedingungen aller Länder und Regionen aneinander anzugleichen. Daneben gilt die flächendeckende landwirtschaftliche Nutzung als Leitziel der Planungen (vgl. Kap. 2). Da das Untersuchungsgebiet hinsichtlich der wirtschaftlichen und strukturellen Situation vor allem im ländlichen Bereich eine eher ungünstige Ausgangslage besitzt (vgl. Kap. 1), wurden Förderprogramme zur Stützung der Region geschaffen.

Tabelle 3-5: Übersicht über die raumbedeutsamen Wirkungen der wichtigsten Förderprogramme im Einzugsgebiet des Glan

Ziel	Programm	Wirkung
Stärkung der Wirtschaft; Verringerung der Landflucht	Wirtschaftsförderung in Form von einzelbetrieblichen und Infrastrukturmaßnahmen	Weniger Betriebsaufgaben; Ausbreitung der Siedlung mit weitergehender Versiegelung
Flächendeckende Bewirtschaftung der Kulturlandschaft	Ausgleichszulage für <i>benachteiligte Gebiete</i>	Verringerung der Landflucht, Sicherung der Kulturlandschaft

Ziel	Programm	Wirkung
Überschwemmungsgebiete zum Hochwasserschutz; Gewässerentwicklung	Aktion Blau, Naheprogramm, Ländliche Bodenordnung	Umwandlung von Acker- zu Grünland- bzw. Auennutzung; Verhinderung von Bebauung
Verminderung der Erosion	Förderung der umweltschonenden Landbewirtschaftung (FUL), Programmteil Grünlandextensivierung	Förderung von Grünland im Gegensatz von Ackernutzung;
Aufwertung des Landschaftsbildes; Verminderung der Erosion	Förderprogramm Streuobstwiesen und Ackerrandstreifen im Rahmen des FUL	Förderung von Streuobstwiesen bzw. Gehölzsäumen im Gegensatz von Ackernutzung
Preisstützung bestimmter Kulturpflanzen	Förderung von bestimmten Fruchtarten (Getreide, Ölsaaten, Eiweißpflanzen, Öllein)	Dezimierung von anderen Fruchtarten wie z.B. Kartoffeln; Förderung von Ackerland im Gegensatz von Grünland bzw. anderen Nutzungen
Preisstützung bestimmter Tierarten	Förderung von Rinder-, Mutterkuh-, Mutterschafhaltung	Dezimierung von anderen Tierarten wie z.B. Schweinehaltung; Förderung von Grünland im Gegensatz von Ackerland
Erstaufforstung von Ackerflächen	Erstaufforstungsprämie	Förderung von Wald- bzw. Forstnutzung im Gegensatz von Acker- und Grünlandnutzung

Förderprogramme können sich über die wirtschaftliche Situation der Bevölkerung auf die Landnutzung auswirken. Da aber Förderprogramme nur einen Anreiz und keine Pflicht darstellen, ist deren Effizienz von der Teilnahme und dem Interesse der Bevölkerung abhängig. Im allgemeinen werden Förderprogramme um so besser angenommen, je einfacher die verwaltungsinternen Angelegenheiten geklärt werden können und je umfassender die Information und Kooperation mit der Bevölkerung erfolgt (vgl. GfL 1998, Z10).

Bedingt durch die Agrarreform 1992 hat es zwischen 1992 und 1997 in Rheinland-Pfalz erhebliche Verschiebungen zwischen den Förderbereichen gegeben. So ist der Anteil der Finanzierungshilfen für die Agrarstrukturverbesserung (z.B. Bodenneuordnung) von 48.4 % auf 41.4 % zurückgegangen, während der Anteil der einkommensstabilisierenden Maßnahmen (z.B. Preisausgleichszahlungen für bestimmte Kulturen) von 46.3 % auf 48.8 % gestiegen ist (vgl. MfWVLW 1998, 20). Hier liegt damit der wichtigste Schwerpunkt der Agrarförderung. Eine Bedeutung für die Landnutzung hat dies insbesondere bei der Unterscheidung der Anbauarten, was im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht differenziert wird. Des weiteren kann hier allerdings auch ein Einfluß auf die Umbruchtendenz von Acker- in Grünlandflächen gegeben sein.

Der Anteil der Finanzierungshilfen für sonstige Maßnahmen im Bereich der Ernährungs-, Land- und Forstwirtschaft hat sich im gleichen Zeitraum von 1.9 % auf 9.7 % erhöht. Laut der Bilanz der Wirtschafts- und Agrarförderung 1992 bis 1997 ist dies vor allem auf die Förderung der umweltschonenden Landbewirtschaftung (z.B. FUL) zurückzuführen (ebd.).

Diesbezüglich werden im Untersuchungsgebiet des AEP Lauterecken bevorzugt die Bullenprämie und die Grünlandvarianten des FUL angenommen. Im Gegensatz dazu wird der Programmteil *Streuobstwiesen*, obwohl er als Schwerpunktaufgabe für den Tourismus angesehen wird, weniger gut wahrgenommen (vgl. GfL 1998, 83f).

Insgesamt kann man erkennen, daß im Einzugsgebiet des Glan deutliche Anreize bestehen, die Umwandlung von Acker- zu (extensivem) Grünland zu forcieren. Dies trifft insbesondere in steileren Hangbereichen und in der Aue zu. Eine rentable Nutzung von Extensivgrünland ist jedoch nur für spezialisierte Betriebe (z.B. Pferdehaltung, Heuerzeugung, Mutterkuhhaltung) möglich. Im Untersuchungsgebiet des AEP Lauterecken schätzt man die Chancen für eine Extensivierung vorhandener Grünlandflächen indes als *zum Teil möglich* ein (vgl. GfL 1998, Z9). Aufgrund der hohen Bonität der Auenböden wird eine Umwandlung von Acker- in Grünlandflächen trotz hohem Anteil an Milchviehbetrieben als problematischer bezeichnet. Dabei ist die Möglichkeit der Neuordnung der Nutzungsstruktur durch Flächenkauf sowie durch freiwilligen Landtausch zwischen Auen- und Hang- bzw. Plateauflächen bereits berücksichtigt (ebd. 10). Die Förderprogramme sowie die Einschätzung über deren Wirkung im Einzugsgebiet des Glan dienen für die Entwicklung der Landnutzungsszenarien in Kapitel 5 als eine wichtige Grundlage.

4 Entwicklung der Landnutzung

Im folgenden sollen die Erkenntnisse zur Entwicklung der Landnutzung zusammengestellt werden. Nach einer allgemeinen Einführung über die Landnutzung in Deutschland wird im zweiten Teil auf die spezielle Situation im Einzugsgebiet des Glan eingegangen. Hier erfolgen Analysen zur bisherigen Entwicklung der Landnutzung der letzten 50 Jahre und die Untersuchung der Ursachen, soweit dies möglich ist. Anschließend werden verschiedene Studien über die Entwicklung der Landnutzung näher betrachtet. Die Analyse der Tendenzen und Prognosen bzw. Projektionen dient als wichtige Grundlage bei der Erarbeitung der Landnutzungsszenarien in Kapitel 5.

4.1 Erkenntnisse zur Landnutzungsentwicklung

Nach der allgemeinen Darstellung der Entwicklung der Landnutzung in Deutschland wird auf die drei wesentlichen Prozesse Verstädterung, landwirtschaftlicher Strukturwandel und die forstwirtschaftliche Entwicklung näher eingegangen.

4.1.1 Allgemeines

Unter Landnutzung versteht man die Art und Weise, wie der Mensch Einfluß auf die Landoberfläche ausübt, indem er sie direkt verändert, die Ressourcen nutzt oder sie durch Eingreifen in ökologische Prozesse beeinflusst (vgl. VELDKAMP/FRESCO 1996, 253). Sie umfaßt sowohl die aktuelle Bodenbedeckung als auch die Bewirtschaftungsweise sowie die zeitliche Dynamik im Jahresgang. Man kann in der Regel verschiedene Landnutzungs-klassen definieren. In Europa geht man von drei Hauptnutzungsarten der Landschaft aus (vgl. VEENEKLAAS 1994, 16; BMELF, 3):

- 1) Siedlungs-, Verkehrs- und Industrieflächen
- 2) Landwirtschaftlich genutzte Flächen
- 3) Wald- und naturnahe/natürliche Flächen

Eine feinere Unterteilung ist je nach Detaillierungsgrad möglich. Landnutzung ist demnach ein *anthropogen bedingtes Gebietscharakteristikum* (vgl. BRONSTERT/FRITSCH/KATZENMAIER 1999, 27). Dabei richtet sich die aktuelle Bodenbedeckung und Bewirtschaftungsweise zum einen nach administrativen/politischen bzw. wirtschaftlichen Entscheidungen, zum anderen aber auch nach den Standortbedingungen. Die Ursache für die Verteilung der Landnutzungsformen ist in physischen Parametern wie Nährstoffverfügbarkeit, Wasserhaushalt oder Relief zu suchen. Die Standortbedingungen liefern die Grundlage für planerische Entscheidungen und stehen in ständiger Wechselwirkung mit ihnen. Beispielsweise findet eine landwirtschaftliche Nutzung in erster Linie auf ebenen, nährstoffreichen Böden mit guter Wasserversorgung statt. Werden die Böden (z.B. durch Staunäseeinfluß oder Auenlage) zu feucht oder auch (durch Hanglage) zu steil, so findet man vor allem Grünlandnutzung bzw. Forstwirtschaft vor.

Im Einzugsgebiet des Glan kann man die Korrelation zwischen Landnutzung und Hangneigung deutlich erkennen. In der Landnutzungsverteilung spiegelt sich die schlechte Ertragslage auf den Hochebenen im Gegensatz zu der guten in den Auen wider. Der Grund hierfür liegt vor allem in den nährstoffarmen Böden des Untersuchungsgebietes (vgl. Kap. 1.4.2).

Durch die landwirtschaftliche Nutzung degradieren vor allem die Böden erträge der Grenzertragsstandorte unter ein rentables Limit. Die geänderten natürlichen Gegebenheiten ziehen eine negative Rückkopplung auf die Landnutzung nach sich. Die Landnutzung bzw. die Verteilung der verschiedenen Landnutzungsklassen über die Oberfläche ist demnach ein dynamisches und niemals konstantes System. Dies impliziert eine Entwicklung der Landnutzung bzw. deren Veränderung mit der Zeit. So kommt es nach NENTWIG (1995, 517), spätestens seitdem der Mensch sesshaft ist, zu direkten und gezielten Veränderungen durch den Menschen. Während beispielsweise die heutige potentiell natürliche Vegetation in fast ganz Mitteleuropa aus Waldökosystemen besteht, findet man heute eine offene Landschaft vor (ebd.). Diese vom Menschen beeinflusste Kulturlandschaft entstand durch das Abholzen der Wälder für Feuerholz, Bauholz und für Ackerflächen. Damit verbunden waren Trockenlegungen von Feuchtwiesen und Mooren, Flußbegradigungen und eine Reihe von Maßnahmen zur Flurbereinigung.

Im allgemeinen kam es während dieses Jahrhunderts durch die wachsende Bevölkerung und eine fortschreitende Mechanisierung zu immer mehr und zu einer immer intensiveren Landwirtschaft bis hin zur heutigen industriellen Landwirtschaft (vgl. NENTWIG 1995, 124, 518). Parallel dazu kam es durch die Forstwirtschaft zur Aufforstung von Monokulturen in den Wirtschaftswäldern.

In Deutschland kann man daher einen stetigen Rückgang an naturnahen Flächen erkennen, während die sog. *Kulturlandschaft* immer weiter zugenommen hat. Letzteres beinhaltet eine unaufhörliche Zunahme an Siedlungs- und Verkehrsflächen auf Kosten der umliegenden Flächen. Dieser Landschaftsverbrauch verlief zwar in den 90er Jahren etwas abgeschwächt, setzte sich aber dennoch fort (ebd.).

Veränderungen der Landnutzung kommen im allgemeinen dann zustande, wenn die aktuelle Landnutzung den anthropogenen Ansprüchen nicht mehr genügt. Nach BRONSTERT/FRITSCH/KATZENMAIER (1999, 39) kommen dafür folgende Faktoren in Frage:

- 1) Flächenbedarf der Bevölkerung durch Bevölkerungswachstum, -wanderung etc. (vgl. Kap. 4.2.2)
- 2) Politische Rahmenbedingungen wie Planungen (vgl. Kap. 2), Agrarsubventionen (Agrarpolitik) oder z.B. Gesetze, Richtlinien etc. durch die Wiedervereinigung beider deutscher Staaten
- 3) Ökonomische Rahmenbedingungen wie (EU-)Wirtschaft oder durch politische Planungen ermöglichte Förderprogramme etc. (vgl. Kap. 3)
- 4) Modifizierte natürliche Verhältnisse wie Waldsterben, Bodendegradierung oder Klimawandel

Grundsätzlich kann man anthropogen bedingte Änderungen anführen, zum anderen auch Veränderungen, die durch einen Klimawandel verursacht werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird jedoch nur auf erstere näher eingegangen, da die hydrologischen Auswirkungen der Landbewirtschaftung des Menschen zwar wesentlich kleinräumiger, jedoch kurzfristig deutlicher und in ihrer Summe wirkungsvoller ablaufen. Ihr Einfluß ist demnach um so größer, je intensiver und großräumiger die Bewirtschaftung und je öfter die Änderungen erfolgen.

So können z.B. Waldrodungen durch die verringerte Verdunstung und Interzeption einen erhöhten Grundwasserspiegel zur Folge haben, während Entwässerungen und Flußbegradigungen das Gegenteil bewirken können. Erosion stellt eine andere Folge von Abholzungen dar. Auch die hydrologischen Auswirkungen der Landnutzung hängen dabei zum einen von der Art der Landnutzung und den morphologischen Eigenschaften des Gebietes und zum anderen von den klimatischen Bedingungen ab. Bei Änderungen der Landnutzung spielen zudem die zeitliche Dynamik, die Schnelligkeit und die räumliche Dimension eine entscheidende Rolle.

Entscheidend ist, daß Landnutzungsänderungen mehr noch als einfache Änderungen der Bewirtschaftungsweise einen grundlegenden Einschnitt in Struktur und Ökologie der Fläche bedeuten. So ändern sich über den Wasserhaushalt auch die Bodenbeschaffenheit und über den Lebensraum die Pflanzen- und Tiergesellschaften. In der Regel ist es daher meist nicht möglich, eine durchgeführte Änderung problemlos zurückzunehmen. So dauert die Entwicklung einer artenarmen Hecke zwischen 50 und 150 Jahren, während die einer artenreichen oder einer Waldgesellschaft schon 150 – 250 Jahre dauert. Bei Hochmooren und alten Bodenprofilen muß man sogar mit einer Entwicklungszeit von bis zu 10 000 Jahren rechnen (vgl. NENTWIG 1995, 518; zit. nach KAULE 1991).

Die historischen Entwicklungen der Landnutzungsformen stellen die Grundlage, von der aus die Landnutzungsszenarien für das Einzugsgebiet des Glan hergeleitet werden. Im folgenden werden daher die wichtigsten drei Prozesse von Landnutzungsänderungen genauer betrachtet:

- 1) Verstädterung
- 2) Agrarischer Strukturwandel
- 3) Forstwirtschaftliche Entwicklung

4.1.2 Verstädterung

Da Ortschaften und Städte in der Regel im Zentrum des von ihnen bewirtschafteten Gebietes liegen, geht ihre Ausdehnung immer auf Kosten der verfügbaren Nutzfläche. Dabei ist der Trend zur Siedlungsausweitung ungebrochen. Zur sog. *Verstädterung* zählt man neben der steigenden Siedlungsfläche außerdem Gewerbe- und Industriegebiete sowie Verkehrsflächen. „Gemessen am Zuwachs der Siedlungsflächen nehmen Verkehrswege und die dazugehörigen Infrastrukturen überproportional zu“ (vgl. NENTWIG 1995, 523).

Die Verstädterung ist nicht allein auf ein Bevölkerungswachstum zurückzuführen, sondern vielmehr in einer verstärkten Bautätigkeit begründet. Die Ursache dafür ist zum einen im Wirtschaftswachstum und in der Form der Industrialisierung, zum anderen in Wanderbewegungen zu suchen. Darüber hinaus sorgt nicht zuletzt die sog. *Wohlstandskomponente* für ein anhaltendes Wachstum der Siedlungen. So kam 1960 jeder Einwohner Deutschlands auf durchschnittlich 20 m² Wohnfläche, während es 1990 bereits über 35 m² pro Person waren (ebd.).

Für den Flächenverbrauch kommen in erster Linie Acker- und Grünlandflächen in Frage, da sie eine hohe Rentabilität als Bauland besitzen. Dies hängt damit zusammen, daß in der Regel weder Altlasten beseitigt noch ein Wald abgeholzt werden muß. Andere Landnutzungsformen wie Obst-, Weinbau- oder innerstädtische Grün- und Sportflächen werden normalerweise aus landschaftspflegerischen Gründen bzw. wegen ihrer wichtigen sozialen und ökologischen Funktionen erhalten.

Die Ausdehnung einer Siedlung erfolgt primär ringförmig, wenn keine standörtlichen Besonderheiten wie Berge oder Seen dagegensprechen. Dabei kommt es allerdings immer zu Aussparungen in unzugänglichen Gebieten und zu einer vermehrten Bautätigkeit an Entwicklungsachsen, wie zum Beispiel Ausfallstraßen, schiffbaren Flüssen oder Güterbahnhöfen. Die Folge ist eine stern- oder strahlenförmige Siedlungsausbreitung.

Folgen der anhaltenden Siedlungsausweitung sind zum einen die zunehmende Zersiedelung der Landschaft und zum anderen ihre zunehmende Versiegelung. So kommt es nach NENTWIG (1995, 524) im Siedlungsbereich zu bis zu 50 % Versiegelung des Bodens. Die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt der Landschaft sind enorm. So kann z.B. der Niederschlag nicht mehr im normalen Maße versickern. Statt dessen wird er über die Kanalisation abgeführt und gelangt meist über eine Kläranlage als Abfluß in den Vorfluter. Dies führt längerfristig zu einem Absinken des Grundwasserstandes, was im Extremfall eine Gefährdung in der Wasserversorgung nach sich ziehen kann (ebd.).

Es ist daher Ziel der Stadt- und Regionalplanung, einer Flächenverschwendung durch Bestandssicherung und –verdichtung vorzubeugen (vgl. Kap. 2).

4.1.3 Agrarischer Strukturwandel

Besonders im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzflächen zeichnete sich im Laufe des letzten Jahrhunderts eine gravierende Entwicklung ab. Während 1800 ca. 90 % der Bevölkerung in der Landwirtschaft beschäftigt waren und für die Nahrungsmittelproduktion des Landes sorgten, waren es 1985 nur noch unter 2 % der Bevölkerung (vgl. NENTWIG 1995, 124). Ursache sind in erster Linie technische Entwicklungen, die zu einer *Mechanisierung* und damit zu neuen Bewirtschaftungsweisen geführt haben. Immer größere Maschinen

verlangten nach größeren, zusammenhängenden Feldern ohne „störende“ Saumelemente und Kleinstrukturen, so daß bis heute mehrere Flurbereinigungen die Landschaft fast völlig ausgeräumt haben (vgl. Abbildung 4-1).

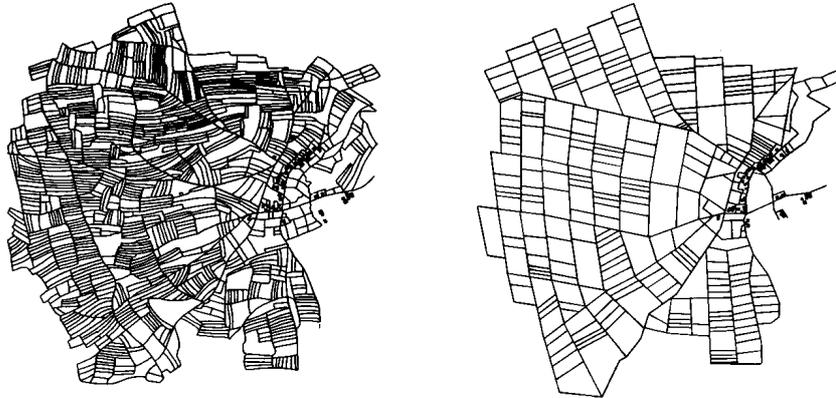


Abbildung 4-1: Parzellierung der Agrarlandschaft vor und nach einer Flurbereinigung (Quelle: NENTWIG 1995, 520; verändert nach DIERCKS 1983)

Parallel zur Mechanisierung, die bereits deutlich zur Produktionssteigerung beitrug, kam es über die Entwicklung von Mineraldüngern zum Einsatz von wachstumshemmenden Mitteln, Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden. Diese *Agrochemikalien* lassen zwar die Produktivität der Landwirtschaft weiter ansteigen, sorgen jedoch auf der anderen Seite für Umweltbelastungen in Form von Lebensraumverarmungen und Bodenauswaschungen. Heute kann man daher vielerorts eine Art *Agrarsteppe* finden. Sie zeichnet sich durch eine sehr intensive Bewirtschaftung aus, die auf großen zusammenhängenden Flächen in sehr enger Fruchtfolge stattfindet.

Die Vernichtung der Saumelemente und Kleinstrukturen hat neben negativen Auswirkungen auf das Landschaftsbild auch ökologische Auswirkungen auf diese Lebensräume mit sich gebracht. So ist zum einen die Stabilität der Ökosysteme stark in Mitleidenschaft gezogen, zum anderen kommt es insbesondere auf geneigten Flächen zu einer verstärkten Erosion (vgl. NENTWIG 1995, 520).

Aber die Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktion und des landwirtschaftlichen Sektors verläuft weitgehend unabhängig von den Auswirkungen auf den Naturhaushalt. Wichtigstes Kriterium ist der ökonomische Profit. Nach NENTWIG (1995, 200) ist jedoch seit „Beginn der 80er Jahre ... in fast allen Staaten der europäischen Gemeinschaft für die wichtigsten Nahrungsmittel ein Eigenversorgungsgrad von 100 % erreicht oder überschritten worden. Das heißt, es wird bei fast allen landwirtschaftlichen Produkten mehr produziert als verbraucht“. Diese Überproduktion kann aufgrund der hohen Erzeugerpreise und der Preisgarantien der EU nur schwer oder gar nicht abgesetzt werden. Die Folge sind gelagerte Überschüsse (z.B. Milchsee, Butterberg), die Verwendung als Viehfutter, der

Verkauf zu Schleuderpreisen (z.B. ehemalige Ostblockexporte) oder die Vernichtung der Produktion (ebd.).

Die veränderten Absatzbedingungen für landwirtschaftliche Produkte führen nach wie vor zu einem agrarischen Strukturwandel. Dies beinhaltet auf der einen Seite eine weitere Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion auf dafür günstigen Flächen. Auf der anderen Seite kommt es jedoch auf Flächen ohne ökonomische Perspektive zu Extensivierungen, zu Maßnahmen im Rahmen des sog. Vertragsnaturschutzes bis hin zu Flächenstillegungen und Aufforstungen. Des Weiteren schließt diese Entwicklung auch eine Reduktion der landwirtschaftlichen Betriebe und Veränderungen in ländlichen Gebieten in Form von moderner Landflucht mit ein. Nutzungen wie Siedlungen, Industrie, Verkehr und Erholung greifen auf die ehemals landwirtschaftlich genutzte Landschaft über und sorgen so für Flächenverbrauch. Die Chance einer nachhaltigen Entwicklung von Natur und Landschaft z.B. in Form von ökologischem Landbau wird indes wenig genutzt (vgl. NENTWIG 1995, 200).

Auf Dauer ist jedoch keine Überproduktion finanzierbar, so daß es bereits zu einer Neuorientierung der Agrarpolitik kommt. Dies geschieht im Moment in Form von Extensivierungs- und Stilllegungsprogrammen (vgl. Kap. 3), langfristig ist jedoch eine Reduktion des Subventionssystems mit der Folge eines *Bauernsterbens* unausweichlich (ebd.). Derzeit werden Grenzertragsflächen gegen Ausgleichszahlungen extensiviert, zu Grünland umgewandelt, einfach aufgegeben, d.h. brachfallen gelassen, oder aufgeforstet. Gelenkt wird diese Entwicklung insbesondere durch die Richtlinien der EU-Agrarpolitik (vgl. Kap. 2 u. 3).

Die steigende Konkurrenz läßt voraussichtlich in Zukunft den agrarischen Strukturwandel weiter zunehmen und es wird zu einer anhaltenden Aufgabe von landwirtschaftlichen Nutzflächen kommen. In den letzten 30 Jahren kam es nach BMELF (1996, 5) zu einer Abnahme von über 3 % in Deutschland, wobei hier weder das Verhältnis zwischen Acker- und Grünlandflächen noch Extensivierungen oder vorübergehende Stilllegungen erfaßt werden. So wandeln sich in erster Linie Ackerflächen zu Grünland- oder Waldflächen um, während eine umgekehrte Entwicklung in der Regel nicht erfolgt. Ferner muß hier auch die Tendenz der Siedlungsausweitung durch Bautätigkeit erwähnt werden. Obwohl ein Flächenverbrauch und eine Zersiedelung vermieden werden sollen, kommt es zu Neuausweisungen von Siedlungs-, Verkehrs- und Industrieflächen und dadurch zu einer vermehrten Umwandlung von landwirtschaftlich genutzten Flächen. Der Grund hierfür ist die finanzielle Stärkung der Kommunen durch Gewerbe- und Einkommensteuern.

Insgesamt führt dies zu einer Reduktion von Ackerstandorten, während bei Grünlandflächen eine Einschätzung schwerfällt. So kommt es besonders in ökologisch wertvollen

Gebieten (z.B. in Gewässernähe) zu einer verstärkten Neuanlegung von Grünlandflächen, während in Stadtnähe deren bevorzugte Bebauung erfolgt.

4.1.4 Forstwirtschaftliche Entwicklung

Der Wald als natürlicher Lebensraum für Flora und Fauna erfüllt eine Reihe von wichtigen Funktionen (vgl. Exkurs). Dennoch kam es zu einer massiven Vernichtung von Waldarealen durch Abholzung oder Rodung. Auwälder sind zudem durch Flußbegradigungen oder –verbauungen fast vollständig verschwunden.

Aufforstungen erfolgten vor allem aus ökonomischen Interesse. Die Wirtschaftswälder bestanden und bestehen in der Regel noch aus gleichaltrigen Monokulturen, die jedoch empfindlich gegen Windbruch und Schädlingsbefall sind. Heute versucht man daher, Mischwälder mit einem gestuften Altersaufbau (*Plenterwirtschaft*) und Mosaiken sowie eine extensive Waldnutzung zu fördern (vgl. NENTWIG 1995, 526). Aufforstungen finden normalerweise auf ehemaligen Acker- oder Grünlandflächen statt, wobei vor allem auf extensive oder gar nicht genutzte Flächen (Wiesen, Öd- und Unland) zurückgegriffen wird.

Exkurs: Funktionen des Waldes

Der Wald als natürlicher Lebensraum für Flora und Fauna erfüllt eine Reihe von wichtigen Funktionen.

So dient er nach NENTWIG (1995, 525) des weiteren:

- dem Schutz der ökologischen Vielfalt und der natürlichen Lebensgrundlagen,
- dem Schutz vor Erosion, Lawinen und Steinschlag,
- der Wasserrückhaltung (Verdunstung, Interzeption),
- der Absorption von Luftschadstoffen,
- der Erholung,
- als Kohlendioxidsenke in Form seiner Biomasse und
- als Quelle für viele Produkte (z.B. Holz, Früchte, Harze, Öle, Latex, für die Pharmaindustrie).

Eine Aufforstung hat gravierende Auswirkungen auf das Ökosystem zur Folge. So verändern sich nicht nur Bodenstruktur und –gefüge, sondern auch der Wasserhaushalt. Die verstärkte Verdunstung und Interzeption läßt wesentlich weniger Niederschlag auf dem Boden auftreffen bzw. versickern, so daß die Grundwasserneubildung dementsprechend zurückgeht. Geschieht eine Aufforstung großflächig, könnte ein sinkender Grundwasserspiegel die Folge sein (ebd.). Insbesondere bei Fichtenforsten sind Veränderungen im Wasserhaushalt zu erwarten. Eine Umkehrung bzw. eine erneute Nutzungsänderung ist

unter normalen Umständen ausgeschlossen. So kommt es nur in Ausnahmefällen zu einer Siedlungsentwicklung auf ehemaligen Waldflächen. Vereinzelt kann man Diskussionen über Flughafenplanungen in Waldgebieten verfolgen.

Schließlich muß man bemerken, daß Aufforstungen in Deutschland nicht großflächig erfolgen, da eine Offenhaltung der Landschaft aus Erholungsaspekten bevorzugt wird. Insgesamt erfährt die Waldfläche dadurch nur eine leichte Zunahme.

4.1.5 Zusammenfassung

Die Entwicklung der einzelnen Landnutzungsformen ist normalerweise nicht wieder umzukehren. So stehen am Ende einer Entwicklung entweder *Wald* oder *Siedlung* (vgl. Abbildung 4-2). Wald wird nur in Ausnahmefällen für Siedlung abgeholzt. Insgesamt erfährt die Landnutzungsform Wald nur eine leichte Steigerung, während Siedlungsflächen verstärkt wachsen.

Natürliches Grünland steht im Gegensatz dazu am Anfang einer Landnutzungsentwicklung, wobei hiervon nur noch ein kleiner Rest in meist unzugänglichen Gebieten vorhanden ist. Dieses kann demnach in alle anderen Nutzungsformen übergehen, was dazu führt, daß natürliches Grünland als Landnutzungsform immer weiter dezimiert wird.

Ackerland und *Grünland* stellen demnach die Zwischenstufen dar, wobei ein Umbruch von Grünland in der Regel nicht vorgenommen wird. Heute kommt es dadurch zu einer Abnahme der landwirtschaftlich genutzten Flächen, während für die Grünlandentwicklung lokale Verhältnisse entscheidend sind. Ackerflächen werden zudem nicht nur zu Grünland umgewandelt, sondern auch brachfallen gelassen.

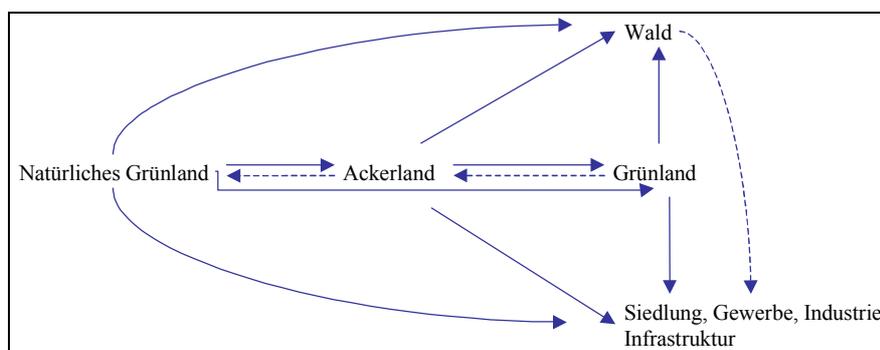


Abbildung 4-2: Entwicklung von Landnutzungsformen (eigene Darstellung)

4.2 Historische Entwicklung der Landnutzung im Einzugsgebiet des Glan

Um eine Grundlage für die Szenariobildung zu haben, ist es sinnvoll, neben aktuellen Planungen (vgl. Kap. 2) und Förderprogrammen (vgl. Kap. 3) die historische Entwicklung der Landnutzungen zu berücksichtigen. Nach einleitenden Vorbemerkungen zur Erhebungsmethode der Daten erfolgt die Darstellung der Entwicklung der einzelnen Landnutzungen im Einzugsgebiet des Glan. Dabei werden außerdem die Ursachen der Entwicklungen herausgearbeitet.

4.2.1 Vorbemerkungen

Die Untersuchung erfolgte aufgrund der Flächenerhebungen des Statistischen Landesamtes Rheinland-Pfalz der Jahre 1960, 1971, 1989 und 1997 und einer Prognose für das Jahr 2000. Problematisch ist dabei die Vergleichbarkeit der Daten vor bzw. nach 1979, was zu einer getrennten Auswertung führt. Ursachen sind unterschiedliche Methoden und Ziele bei der Datenerfassung und dadurch bedingt unterschiedliche Bezugsgrößen (s.u.). Darüber hinaus wurden Aussagen zur Entwicklung des Gebietes aus Planungen und behördlichen Berichten eingearbeitet.

Das Hauptinteresse der *Bodennutzungsvor- bzw. haupterhebung* vor 1979 war vorwiegend landwirtschaftlich ausgerichtet, d.h. wichtig waren die Fruchtfolgen und infolge daraus deren wirtschaftliche Erträge. Deshalb ging man zum Beispiel nicht von der gesamten Bodenfläche des Landkreises, sondern von der *wirtschaftlichen Gesamtfläche* der land- und forstwirtschaftlichen Betriebe aus, die hier ihren Sitz hatten. Auf diese Weise wurden auch Flächen, die außerhalb des Kreises lagen, diesem zugeschlagen (*Betriebsprinzip*). Flächen, die entweder zu keinem oder zu Betrieben mit einer Fläche von weniger als einem halben Hektar gehörten, wurden nach dem *Flächendeckungsprinzip* von den Gemeinden hinzugeschätzt. Insgesamt kommt es dadurch zu einer sich verändernden Bezugsgröße, was einen direkten Vergleich der einzelnen Landnutzungsanteile erschwert.

Seit 1979 wird zwischen der Bodennutzungshaupterhebung und der reinen Flächenerhebung unterschieden. Dabei knüpft erstere an die Erhebungsmethode, das Ziel und damit an die Definitionen der verschiedenen Nutzungsarten der früheren Jahre an. Damit stellt sie die Verteilung der Hauptnutzungs-, Kultur- und Fruchtarten bis auf Kreisebene dar. Im Unterschied zu vorher müssen die Gemeinden keine Schätzungen mehr für die Flächen anfertigen, die keinem bzw. nicht erfassungspflichtigen Betrieben (jetzt < 1 ha) angehören. Die Vergleichbarkeit wird dadurch weiter eingeschränkt.

Im Gegensatz dazu gliedert die *Flächenerhebung*, die von der eigentlichen Bodenfläche des Kreises ausgeht, die Fläche nach ihren Nutzungen (*Belegenheitsprinzip*). Neben den

Flächenunterschieden bestehen Unterschiede in der Festlegung der Nutzungskategorien, was einen Vergleich sowohl untereinander als auch innerhalb der verschiedenen Jahre erheblich behindert.

Insgesamt fallen die Schwankungen um so stärker aus, je kleinräumiger die land- und forstwirtschaftlichen Gebietseinheiten sind. Im Siedlungsbereich sind die Vergleichsschwierigkeiten vor allem definitions- und zuordnungsbedingt. Veränderungen des Nutzungsartenkatalogs seit 1979 spielen im Rahmen der Klassifizierung für LADEMO und TRAIN allerdings keine besondere Rolle, da diese entweder die Bezeichnungen selbst betreffen oder sich innerhalb derselben Klasse abspielen (vgl. 6.2.4, *Aggregation*).

4.2.2 Entwicklung der Landnutzung

Mit diesen Einschränkungen wurde dennoch versucht, eine Entwicklung der Landnutzung zu beschreiben, indem entsprechende Klassen zusammen interpretiert wurden. Die folgenden Abbildungen 4-3 bis 4-6 entstammen den Daten der Flächenerhebungen des Statistischen Landesamtes Rheinland-Pfalz. Eine Beschreibung der Entwicklung der Grünlandnutzung war auf dieser Grundlage nicht möglich, da diese in die landwirtschaftliche Nutzfläche integriert ist. Eine allgemeine Abschätzung erfolgt jedoch in der Analyse der Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzflächen (vgl. Exkurs: *Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzfläche*, 95).

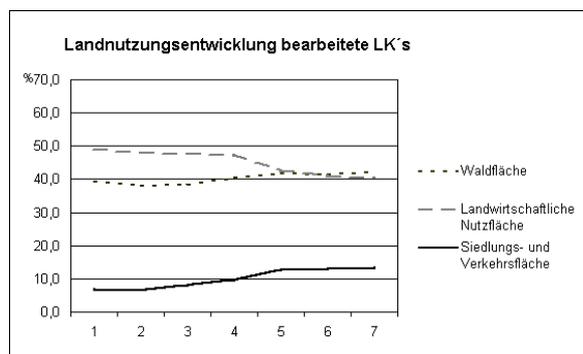


Abbildung 4-3: Prozentuale Landnutzungsentwicklung der bearbeiteten Landkreise des Einzugsgebietes des Glan zwischen 1950 und 2000 (Daten: SLA)

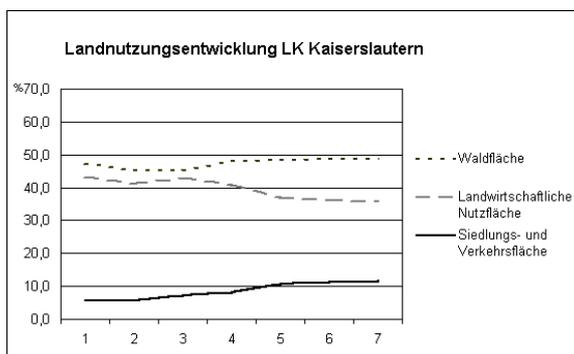


Abbildung 4-4: Prozentuale Landnutzungsentwicklung des Landkreises Kaiserslautern zwischen 1950 und 2000 (Daten: SLA)

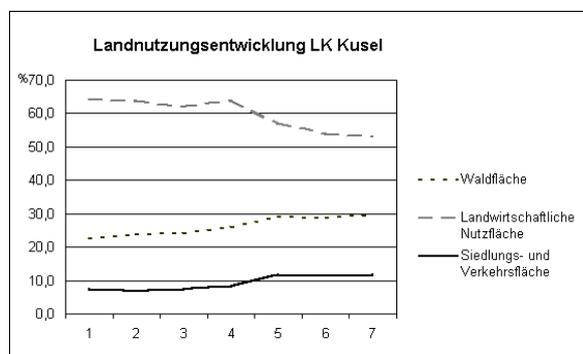


Abbildung 4-5: Prozentuale Landnutzungsentwicklung des Landkreises Kusel zwischen 1950 und 2000 (Daten: SLA)

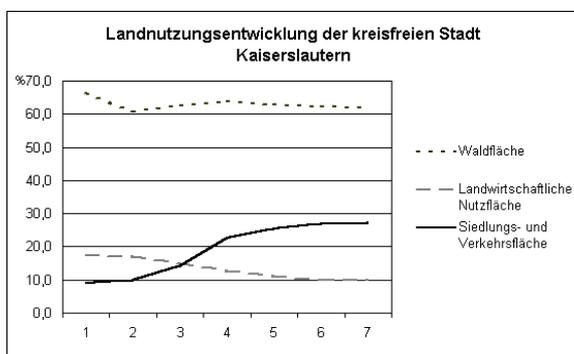


Abbildung 4-6: Prozentuale Landnutzungsentwicklung der kreisfreien Stadt Kaiserslautern zwischen 1950 und 2000 (Daten: SLA)

Siedlungs- und Verkehrsfläche

Deutlich zu erkennen ist sowohl in den einzelnen Kreisen als auch in der Gesamtbetrachtung aller bearbeiteten Kreise der Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche insgesamt um etwa das Doppelte. Insbesondere die Stadt Kaiserslautern erfuhr eine starke Siedlungs- und Verkehrsentwicklung. Es ist davon auszugehen, daß sich diese Tendenz fortsetzt.

Bei der bisherigen Siedlungsentwicklung kam es zu einer starken Inanspruchnahme des Freiraumes für die Siedlungs- und Gewerbeflächenausweisung. Diese einseitig nach außen gerichtete städtebauliche Entwicklung hatte durch das Auseinanderfallen von Wohn-, Arbeits-, Bildungs- und Freizeitbereichen einen erhöhten Flächenbedarf zur Folge. Randwanderungen sorgten für die Abnahme der Tragfähigkeit der vorhandenen Infrastruktur in den Stadt- und Ortskernen, wobei diese gleichzeitig die Errichtung neuer infrastruktureller Einrichtungen in den Neubaugebieten notwendig machten. Durch die steigende Freiraumbbeanspruchung kam es zu einer wachsenden Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes und zu einer ungenügenden Berücksichtigung der natürlichen Ressourcen (PGW 1990, 70). Der mit der Siedlungsentwicklung einhergehende Landschaftsverbrauch bedeutet gleichzeitig eine weitere Versiegelung der Landschaft, was sowohl die Versickerung als auch die Grundwasserneubildung verringert. Bei näherer Betrachtung führt dies über den erhöhten Abfluß zu einer Verstärkung der Erosion und der Hochwasser. Des Weiteren macht die Versiegelung so den Bau von teuren Kanälen, Regenüberlauf- und -rückhaltebecken und Behandlungsverfahren notwendig (MIS 1998, 45).

Es gibt mehrere Ursachen für ein Ansteigen der Siedlungs- und Verkehrsfläche. So kommt es zum einen in der Westpfalz trotz Geburtenrückgangs zwischen 1992 und 1997 vor allem durch Wanderungsgewinne zu einem Bevölkerungswachstum von 19.8 % (MIS 1998, 6). Dabei sind sowohl der Trend der Geburtenzahlen als auch die Zuzüge (insbesondere die aus dem Ausland) weiter rückläufig, so daß sich die Wanderungsgewinne verkleinern. In einer Prognose aus dem Raumordnungsbericht Rheinland-Pfalz 1998 kommt es zu einem weiteren Anstieg der Bevölkerung bis etwa 2004. Danach sorgt eine Überkompensation der beiden Trends für eine Abnahme der Bevölkerungszahlen. Für die Westpfalz bedeutet dies bis 2010 eine Abnahme um 0.8 % gegenüber 1996 (MIS 1998, 13).

Zum anderen erhöht sich die Anzahl der Haushalte, was eine Auswirkung auf die benötigte Siedlungsfläche nach sich zieht. Insbesondere 1–2-Personenhaushalte nehmen aufgrund der Individualisierung der Gesellschaft weiter zu, während die Anzahl der 4-Personenhaushalte zurückgeht (ebd. 14). Dadurch kommt es zu einem Anstieg der Wohnungsanzahl. Aber auch die Wohnfläche je Wohnung und vor allem die Wohnfläche je Einwohner nimmt zu (ebd. 65). Man kann davon ausgehen, daß dieser Trend weiter anhält und es so in der Westpfalz und im Einzugsgebiet des Glan zu einer weiteren Ausweitung der Siedlungs- und Verkehrsfläche kommt.

Bis zur Wiedervereinigung der beiden deutschen Staaten gab es in Rheinland-Pfalz diverse militärisch genutzte Gebiete sowohl von deutscher als auch von alliierter Seite. Die Folge war ein eingespieltes System zwischen militärischen und zivilen Arbeitsplätzen. Damit war das Militär ein wichtiges Standbein der strukturschwachen Wirtschaft im Einzugsgebiet des Glan. Durch den Truppenabzug der Alliierten ist dieses Gleichgewicht ins Wanken gekommen, indem eine Vielzahl an direkten und indirekten Arbeitsplätzen verschwanden. Im Zusammenhang mit dem agrarischen Strukturwandel (vgl. Kap. 4.1.3) führt dies zu regionalen Verschiebungen in der Bevölkerungsverteilung in Richtung Stadt. Im Untersuchungsgebiet betrifft dies besonders die Umgebung von Kaiserslautern. Auch der Sektor Dienstleistung und Handel wird in der Wirtschaftsstruktur immer bedeutender (MIS 1998, 109).

Durch den Truppenabzug wurden etliche Flächen für andere Nutzungen wie z.B. für Siedlungs-, Verkehrs- oder Industrieflächen frei. So kann man neben der Siedlungsausweitung eine steigende Tendenz beim Einzelhandel beobachten. Dies beinhaltet den Trend weg von kleinen Betrieben hin zu immer größeren Betriebsformen „auf der grünen Wiese“ (MIS 1998, 81ff). In der Regel geschieht eine solche Ausweisung eines Gewerbegebietes im Umfeld von Ober- und Mittelzentren (wie Kaiserslautern) und geht zu Lasten der Innenstädte. Dabei werden immer häufiger Raumordnungsverfahren und landschaftsplanerische Stellungnahmen für raumbedeutsame Vorhaben notwendig. Die Lage der Zentren und neue Vertriebsformen (z.B. Internet-Verkauf) führen über den Transport zu einem steigenden Motorisierungsgrad (ebd.), womit es auch zu einem weiteren Ausbau der Verkehrsflächen kommt.

Nach FISCHER (1989, 146) ist die schwache Entwicklung des Nordpfälzer Berglands eine Folge aus der nicht ausreichenden Erschließung durch Eisenbahn und Straßen, was wiederum an der Ausrichtung des Saar-Nahe-Berglandes liegt. Besonders die Erschließung des westlichen Nordpfälzer Berglandes wird immer weiter zurückgenommen, so daß im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) inzwischen statt Regionalbahnen oft Busse verkehren. Im Gegenzug erfolgte in den letzten Jahrzehnten ein verstärkter Ausbau des Straßennetzes, was sich zwar weniger im Neubau, dafür aber vor allem in Verbreiterungsabschnitten, Begradigungen oder Umgehungen zeigte. Neben unerreichbaren Einkaufszentren außerhalb der Stadt machen solche Entwicklungen eine individuelle Motorisierung besonders im Norden des Einzugsgebietes unabdingbar, auch wenn die Regierung bemüht ist, einen benutzerfreundlichen „RLP-Takt“ des ÖPNV's zu gewährleisten. Eine Trendwende, z.B. durch politische Steuerung, ist nicht in Sicht.

Eine Entwicklung von Siedlungs-, Verkehrs- oder Industrieflächen erfolgt in der Regel nur auf landwirtschaftlicher Nutzfläche wie z.B. Acker-, Grün- und Brachland. Das Einzugsgebiet des Glan unterscheidet sich diesbezüglich nicht von den allgemeinen Zusammenhängen, die in Kapitel 4.1.2 näher erläutert werden. In der Raumordnungsplanung geht

man davon aus, daß eine bevorzugte Entwicklung voraussichtlich im Raum Kaiserslautern und damit in der Landstuhler Senke stattfinden wird (vgl. Kap. 2).

Landwirtschaftliche Nutzfläche

Im Gegensatz zur Ausbreitung des urbanen Ballungsraumes fällt in den Abbildungen 4–3 bis 4–6 bei der landwirtschaftlichen Nutzfläche der rasante Rückgang auf. Besonders betroffen war hier der Landkreis Kusel. In der Agrarstrukturellen Entwicklungsplanung (AEP) Lauterecken geht man in einer Prognose von Betriebsaufgaben davon aus, daß etwa 14 % der dortigen landwirtschaftlichen Fläche in den nächsten Jahren aufgegeben werden. Aufgrund des hohen Flächenbedarfs werden voraussichtlich die günstigeren Flächen an ausbaufähige Betriebe weiter verpachtet (GfL 1998, 74). Die Kleinräumigkeit der AEP läßt jedoch eine Aussage über die zukünftige Entwicklung des gesamten Einzugsgebiet des Glan kaum zu.

Exkurs: Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzfläche

Trotz ähnlicher Erfassungsmethoden gibt es auch bei der Vergleichbarkeit der einzelnen Bodennutzungshaupterhebungen von 1960, 1971, 1983 und 1995 Einbußen. Zum einen ist dies in sich verändernden Bezugsgrößen begründet, zum anderen liegt es an laufenden Anpassungen des Merkmalskatalogs an neuere Entwicklungen, sprich an Neufassungen, Erweiterungen oder Einschränkungen der Definitionen der Klassifizierungen. Dennoch kann man die Tendenz der verschiedenen Entwicklungen erkennen.

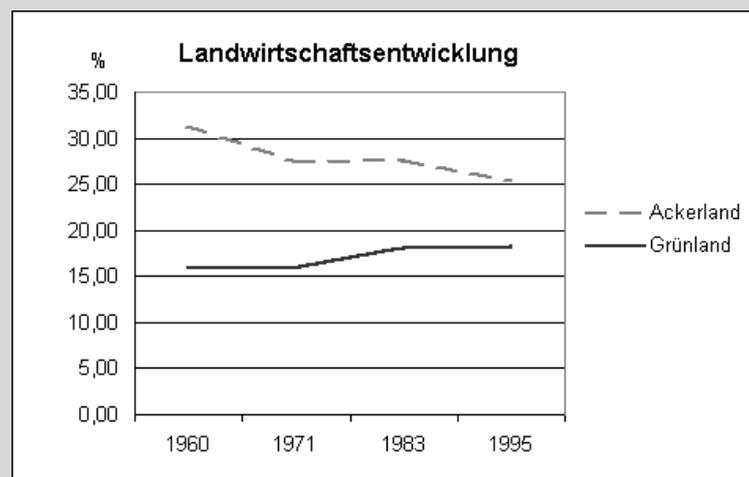


Abbildung 4-7: Prozentuale Entwicklung von Grün- und Ackerland (innerhalb der landwirtschaftlichen Nutzfläche) in den bearbeiteten Landkreisen zwischen 1960 und 1995 (Daten: SLA)

So kann man in diesem Zeitraum beim *Grünland* insgesamt eine leichte Zunahme von 15.84 % auf 18.33 % beobachten (Ausnahme: Stadt Kaiserslautern; vgl. Abbildung 4-7). Im Untersuchungsgebiet der AEP Lauterecken wird ebenfalls ein Trend zur Ausweitung des Grünlandanteils beschrieben (GfL 1998, 12). Zudem wird durch Förderprogramme wie das Gewässerrandstreifenprogramm in den Auenbereichen eine Umwandlung von Acker- in Grünlandflächen erreicht (vgl. Kap. 3).

Innerhalb der Grünlandnutzung hat sich die fast ausschließliche Wiesennutzung von 1960 (85.13 % des Grünlandes) bis 1995 zu einem ausgewogeneren Verhältnis von etwa 50 % Wiesen und 50 % Weiden hin entwickelt. Betrachtet man diesbezüglich Rheinland-Pfalz, so stellt man fest, daß sich hier die Tendenzen weiter fortgesetzt haben und sich die Verhältnisse bereits umgekehrt haben (37.38 % Wiesen – 62.62 % Weiden). Demnach kann man davon ausgehen, daß sich dies in Zukunft auch in den Kreisen des Einzugsgebietes einstellen könnte.

Bei den *ackerbaulichen Flächen* kann man von 1960 bis 1995 eine deutliche Abnahme von 31.30 % auf 25.33 % der Gesamtwirtschaftsfläche erkennen. Dies unterstützt die These einer Ausweitung der Grünlandflächen.

Besonders betroffen von der Abnahme scheint der Getreideanbau zu sein. Nach einer Phase der Zunahme bis 1983 hat dieser 1995 einen deutlichen Einbruch erlitten, was wiederum insbesondere die Gerste betrifft. Dabei geht aus dem Regierungsbericht des Landtags Rheinland-Pfalz von 1998 hervor, daß 1997 die Anbauflächen für Getreide erneut ausgedehnt wurden, da die Stilllegungsverpflichtungen von 10 % auf 5 % gesenkt worden waren (vgl. Kap. 3). Insgesamt kam es dadurch zu einer Steigerung der Anbaufläche für Getreide um 4 % (ebd. 75). Bereits 2000 wurde jedoch der Prozentsatz der Stilllegungsverpflichtung wieder auf 10 % angehoben, was einen erneuten Einbruch für das Jahr 2000 bedeuten könnte. Die prozentualen Entwicklungen der einzelnen Anbaufrüchte der Landwirtschaft in den einzelnen Landkreisen im Einzugsgebiet des Glan sind im Anhang 4-1 aufgeführt.

Eine ähnliche, nicht derart extreme Entwicklung kann man bis 1995 bei den Ackerfutterpflanzen beobachten. Die Tendenz bei den Hackfrüchten¹ ist seit 1960 jedoch stetig stark rückläufig, insbesondere beim Kartoffelanbau.

Im Gegensatz dazu kann man beim Rapsanbau einen deutlichen Aufwärtstrend erkennen. Nachdem es 1960 so gut wie keinen Raps gab, ist sein Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche bis 1995 auf 7.95 % gestiegen.

Betrachtet man die positive Einkommensentwicklung bei Getreide und Zuckerrüben und steigende Ausgleichszahlungen im Gegensatz zu erheblichen Umsatzrückgängen bei Ölsaaten und Kartoffeln (LANDTAG RLP 1998, 118), kann man dies zum einen als Erklärung der landwirtschaftlichen Anbauentwicklung der letzten Jahre, aber auch als Grundlage für die zukünftige Entwicklung nehmen und entsprechende Szenarien entwickeln

¹ Für 1983 lagen keine gesonderten Daten vor.

Neben dem generellen Rückgang der landwirtschaftlichen Flächen kommt es außerdem zu einer Extensivierung, was unter anderem eine Folge der Förderprogramme von Rheinland-Pfalz und der EU darstellt (vgl. Kap. 3).

Mit dem Strukturwandel in der Landwirtschaft geht nicht nur der Rückgang der Anzahl der Betriebe, sondern auch der rückläufige Anteil der Beschäftigten in der Landwirtschaft einher (vgl. 4.1.3). Dabei erzielen nur die größeren und damit rentabler wirtschaftenden Betriebe ein ausreichendes Einkommen, um sich zu erhalten. So kommt es, daß bei den kleinen bis mittleren Betrieben (< 50 ha) ein starker Rückgang und bei den großen bis sehr großen Betrieben (> 75 ha) eine Zunahme zu verzeichnen ist (LANDTAG RLP 1998, 34).

Ferner folgt ein ansteigender Anteil an Nebenerwerbsbetrieben, bei denen aufgrund der unzureichenden Einkommenskazität hinzu verdient werden muß. Eine Spezialisierung und Effizienzsteigerung der Betriebe ist oftmals unumgänglich (LANDTAG RLP 1999, 7 u. 21). Dies führt zu einer verstärkten Mechanisierung und dem damit verbundenen Maschineneinsatz auf der Fläche, was über die dadurch veränderte Bodenbeschaffenheit einen wichtigen Einflußfaktor auf die Grundwasserneubildung und die Verdunstung bedeutet.

Da jede Spezialisierung der Betriebe unterschiedliche Umsatzerlöse bringt, wird in diesem Rahmen mittlerweile vermehrt nach den Richtlinien des *Ökologischen Landbaus* produziert (LANDTAG RLP 1998, 100). Dies bedeutet die ausschließliche Verwendung von mechanischen und thermischen Verfahren zur Unkrautbekämpfung genauso wie den Verzicht von chemisch-synthetischen Dünge- und Pflanzenschutzmitteln. Ziel ist es hier, eine Auswaschung ins Grundwasser zu vermeiden. Eine schonende Bodenbewirtschaftung führt über ein vitaleres Bodenleben zu einer besseren Bodenfruchtbarkeit. Der Anbau von artenreichen Fruchtfolgen (inkl. Leguminosen und Zwischenfrüchten) und eine gezielte Sortenwahl sorgen für hohe Erträge, die einen Überschuß vermeiden (vgl. ebd. 99; NENTWIG 1995, 126).

Waldfläche

Bei der Waldfläche bietet sich ein nicht so extremes Bild, was mit den unterschiedlichen Schwerpunkten der einzelnen Landkreise zusammenhängt. So kam es in der kreisfreien Stadt Kaiserslautern durch die starke Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen zu einer Abnahme der Waldfläche, während in den Landkreisen eine Zunahme zu verzeichnen war. Insgesamt kann man dadurch ein nur leichtes Wachstum des Waldanteils von 39.3 % im Jahr 1950 auf 41.5 % im Jahr 1997 beobachten. Dieses wiederum fiel im Landkreis Kusel stärker aus als im Landkreis Kaiserslautern, da hier offensichtlich in erster Linie stillgelegte landwirtschaftliche Nutzflächen in Wald umgewandelt wurden.

Die Aufforstung wurde dabei sowohl durch Privateigentümer als auch durch die staatliche Hand durchgeführt. Letztere erwarb dafür ehemals landwirtschaftliche Flächen, was auf-

grund von Kapitalmangel eine stark rückläufige Tendenz hat. Im Gegensatz dazu erfolgen vermehrt Aufforstungen durch Privateigentümer, deren landwirtschaftliche Flächen aus Gründen der Hängigkeit oder der Bodengüte aus der Landwirtschaft ausscheiden. Unterstützt wird dies durch verschiedene Förderprogramme (vgl. Kap. 3).

Aus der AEP Lauterecken kann man ersehen, daß hier die Waldfläche um durchschnittlich 0,27 % der Gesamtfläche pro Jahr – also minimal – zunimmt (GfL 1998, 155). Weiterhin erfolgt in letzter Zeit eine Erhöhung des Laubholzanteils, was vor allem auf Kosten der Kiefer geht und dem Zweck einer naturgemäßen Bewirtschaftung dient (ebd.).

4.2.3 Zusammenfassung

Das Einzugsgebiet des Glan ist ein ländlich geprägtes Gebiet, das vor allem im nördlichen Bereich mit einer wirtschaftlichen Strukturschwäche zu kämpfen hat. Insbesondere der agrarische Strukturwandel und der Truppenabbau in der Region führen zu Abwanderungen in städtisch geprägte Gebiete wie die Umgebung von Kaiserslautern. So kommt es hier zu einer Ausweitung von Siedlungs-, Verkehrs-, Gewerbe- und Industrieflächen, was eine weitere Versiegelung der Landschaft bedeutet. Dieser Landschaftsverbrauch geschieht wie allgemein üblich auf Kosten von landwirtschaftlicher Nutzfläche (Acker-, Grünland- und Brachlandflächen). Darüber hinaus kann man eine vermehrte Umwandlung von Acker- in Grünlandflächen vor allem in den Auenbereichen beobachten. Waldflächen haben infolge des agrarischen Strukturwandels eine leichte Zunahme erfahren. Diese Entwicklungen werden als Grundlage für die Landnutzungsszenarien in Kapitel 5 genommen.

4.3 Studien zur Entwicklung der Landnutzung

Neben planerischen Rahmenbedingungen, Förderprogrammen und historischen Trendanalysen können außerdem andere Studien als Grundlage für die Entwicklung von Szenarien hinzu gezogen werden. Im Falle des Einzugsgebietes des Glan stand dazu die *Rhine basin study* vom *DLO Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research* (SC-DLO) zur Verfügung (VEENEKLAAS ET AL. 1994). Im Rahmen dieser Studie entstand wiederum ein Überblick über verschiedene andere Studien, die sich mit der Entwicklung der Landnutzung im Einzugsgebiet des Rheines beschäftigen (ebd. 43). Die Darstellung dieser Studien ist aus dem Bericht von VEENEKLAAS ET AL. über die *Rhine basin study* entnommen. Sie ist zielgerichtet und faßt nur die für diese Arbeit wesentlichen Inhalte für das Einzugsgebiet des Glan bzw. für Rheinland-Pfalz zusammen.

4.3.1 Szenarienstudie der Agricultural University Wageningen

Die Studie entwickelt Landnutzungsszenarien für den ländlichen Raum der Niederlande, wobei sie in einen europaweiten Kontext gestellt wurde. Sie ist auf das Jahr 2015 gerichtet. Es werden drei Szenarien entwickelt, die sich an verschiedenen wirtschaftlichen Denkweisen und Risikobereitschaften orientieren (ebd. 43). Dabei geht *Szenario A* von einem freien Markt aus, der sich selbst regelt und Umweltrisiken wagemutig gegenübersteht. *Szenario B*

orientiert sich an der neoklassischen Theorie, die eine eingeschränkte Freiheit verfolgt und demnach besonnen auf Risiken eingeht. *Szenario C* wird geleitet von der Theorie Keynes, die eine Art Ökozentrismus fordert.

Die Konsequenzen aus dem *Szenario A* sind in den Niederlanden ein drastischer Preisverfall der ackerbaulichen Produkte. Dies führt zu einer Intensivierung auf den ertragreichen Flächen, während die ertragsschwächeren Flächen aufgegeben und entweder zu Grünland oder zu Gartenbau umgewandelt werden. Die Studie geht von einer jährlichen Reduzierung der landwirtschaftlichen Nutzfläche in den Niederlanden um 0.3 – 0.4 % aus. Dies entspricht bei einer eigenen Projektion auf den Zeitraum von 50 Jahren einer Abnahme um 14 % bis 18 %. Im Gegensatz dazu steigt der Flächenverbrauch der Siedlung in den Niederlanden bis 2050 um etwa das Doppelte. Dies betrifft vor allem ehemalige Grünlandflächen (ebd. 44).

Im *Szenario B* sinken unter anderem die Preise für Getreide, Ölfrüchte und Zuckerrüben ebenfalls drastisch, so daß deren Produktion insbesondere in dicht besiedelten Regionen nicht weiter rentabel sein wird. Gründe hierfür sind hohe Bodenpreise und Druck anderer Landnutzungen wie der Ausbreitung von Siedlungen. Obwohl die Abnahme der landwirtschaftlichen Nutzfläche zunächst langsamer verläuft als in Szenario A, wird derselbe Stand nach etwa 25 Jahren erreicht. Dies bedeutet nach 50 Jahren ebenfalls eine Abnahme zwischen 14 % und 18 %. Dasselbe gilt für die Verstädterung im Szenario B (ebd. 45).

Durch höhere Umweltauflagen in *Szenario C* kommt es trotz Preisstützung zu einer beschleunigten Abnahme der landwirtschaftlichen Flächen. Für die Niederlande wird bis 2015 ein jährlicher Rückgang von 0.6 % erwartet, was bei einem Zeitraum von 50 Jahren etwa 26 % bedeuten würde. Dies und die geringeren Verstädterungstendenzen in diesem Szenario führen zu einem größeren Flächenangebot für naturnahe, Wald- und Erholungsflächen (ebd.).

Die Studie der Agricultural University Wageningen bezieht sich auf mögliche Landnutzungsänderungen in den Niederlanden. Die Ergebnisse können nicht ohne weiteres auf Deutschland, Rheinland-Pfalz oder sogar das Einzugsgebiet des Glan übertragen werden. Dennoch können sie als Anhaltspunkt oder grobe Orientierung dienen.

4.3.2 Szenarienstudie des Netherlands Scientific Council for Government Policy (WRR)

Die 1992 veröffentlichte Studie umfaßt vier Szenarien mit je zwei Varianten für den ländlichen Raum in der Europäischen Union. Die Szenarien beschäftigen sich dabei in erster Linie mit den Landnutzungen Land- und Forstwirtschaft. Sie stellen keine Vorhersagen, sondern die Grenzen der möglichen Entwicklungen in den nächsten 25 Jahren dar (vgl. Kap. 5.1). Diese beinhalten Indikatoren wie Landverbrauch, Kosten, Beschäftigungs-

situation und den Einsatz von Agrochemikalien. Um die Vielzahl an Möglichkeiten auf vier Szenarien einzugrenzen, wurden folgende Ziele definiert (ebd. 45f).

- Betonung der Agrartechnik mit dem Ziel der Ertragsmaximierung und der Minimierung der Kosten
- Betonung der sozio-ökonomischen Komponente mit dem Ziel der totalen und regionalen Beschäftigung auf landwirtschaftlicher Ebene
- Betonung der Umweltbelange mit dem Ziel der Anpassung des Stickstoffeinsatzes und der Pflanzenschutzmittel

Alle Szenarien verfolgen zusätzlich das Ziel, die Kosten auf dem Agrarsektor zu minimieren. Sie unterscheiden sich in ihrem Schwerpunkt bezüglich der Ziele und in der Bildung von Grenzwerten z.B. bezüglich Umweltrestriktionen.

Szenario A: geht von einem *freien Markt und freiem Handel* aus. Die Betonung liegt auf der Minimierung der Kosten, wobei nahezu alle Einschränkungen der anderen Ziele aufgegeben werden. Das Szenario repräsentiert eine extrem kosteneffiziente Entwicklung der Landwirtschaft mit nur wenigen Umweltschutzvorkehrungen.

Szenario B: betont die *regionale Entwicklung*, um der Marginalisierung der ländlichen Regionen mit Arbeitsschutzmaßnahmen zu begegnen. Maßnahmen des Umweltschutzes treten wie bei Szenario A in den Hintergrund.

Szenario C: versucht, soviel Raum wie möglich für *Natur und Landschaft* bereit zu stellen, indem umweltfreundliche Anbautechniken verwendet werden. Dabei wird durch den strengeren Einsatz der Agrochemikalien eine geringere Produktivität des Anbaus in Kauf genommen.

Szenario D: durch besonders strenge Umweltrestriktionen bei den Agrochemikalien wird besonderer Wert auf den *Umweltschutz* gelegt.

Alle Szenarien werden von der Annahme hinterlegt, daß in der EU kaum Bevölkerungswachstum erwartet wird. Darüber hinaus werden zwei Varianten definiert, die das Ernährungsverhalten der Bevölkerung bezogen auf deren Konsum von tierischen Produkten abdecken: In Variante 0 geht die Studie von einem konstanten Anteil an diesen Produkten, in Variante + von einem steigenden Anteil aus (ebd. 49).

In allen Szenarien und deren Varianten kann man einen Rückgang an landwirtschaftlichen Flächen erkennen. Besonders betroffen ist dabei das Szenario C₀, während bei Szenario B₊ die geringste Abnahme zu verzeichnen ist. Bei letzterem wird die regionale Entwicklung und die Beschäftigung der Bevölkerung besonders gefördert. Des weiteren wird davon ausgegangen, daß sich der Anteil der tierischen Produkte am Markt erhöht. Für Rheinland-Pfalz bedeutet dies für Szenario B₊ eine Abnahme an ackerbaulich genutzter Fläche um etwa 50 %, während der Anteil an Grünland um 70 % zunehmen würde. Aufgrund der

Verhältnisse kommt es insgesamt dennoch zu einem Rückgang der landwirtschaftlicher Nutzfläche um 10 % (ebd. 50f).

Da die Ergebnisse der WRR-Studie sehr detailliert bis auf Länderebene dargelegt werden, ist die Berücksichtigung im Rahmen dieser Arbeit möglich. Dabei liegen diese in der Zusammenfassung der *Rhine basin study* allerdings nur für das Szenario B₊ detailliert vor, so daß ein Vergleich bzw. die Entwicklung eines sog. *best guess* daraus alleine nicht möglich ist. Ferner ist zu beachten, daß die Übertragung der Szenarien auf das Einzugsgebiet des Glan noch aus den Vorgaben für Rheinland-Pfalz abgeleitet werden muß.

4.3.3 FAO-Studien: *Agriculture: Toward 2010* und *European Timber Trends and Prospects to the year 2000 and beyond*

Die 1993 veröffentlichte FAO-Studie *Agriculture: Toward 2010* stellt eine weltweite Schätzung für Nahrungsmittel sowie für die Land- und Forstwirtschaft dar. Der Schwerpunkt liegt auf den sog. Entwicklungsländern, wobei der Ausblick auf die sog. entwickelten Länder die EU als Ganzes umfaßt. Für das Einzugsgebiet des Glan sind die Aussagen nur sekundär von Bedeutung. Des weiteren sind sie bereits in andere Studien wie die *Rhine basin study* eingearbeitet, so daß auf eine nähere Beschreibung verzichtet wird. Letzteres gilt auch für die 1986 veröffentlichte Studie zu den Trends und Aussichten der Europäischen Holznutzung (*European Timber Trends and Prospects to the year 2000 and beyond*) (ebd. 51).

4.3.4 Rhine basin study

Die 1994 veröffentlichte *Rhine basin study* des DLO Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research (SC-DLO) stellt eine Untersuchung von möglichen zukünftigen Landnutzungen im Einzugsgebiet des Rheines dar. Ziel ist es, die Konsequenzen von solchen Landnutzungs- und Klimaänderungen auf das Abflußregime des Rheines besser abschätzen zu können. Die folgende Darstellung bezieht sich auf den vierten Teil des dazugehörigen Berichts von VEENEKLAAS ET AL., in dem die projizierte Landnutzung beschrieben wird.

Entwicklung der Projektionen

In der *Rhine basin study* werden im Gegensatz zu den anderen Studien keine Szenarien entwickelt, da sie ihre Projektionen nur auf den Zeitpunkt 2015 bzw. den Zeitraum 2040-2049 richtet. Den Zeitraum dazwischen betrachtet sie nicht. 2015 gilt dabei als Schnittstelle zu anderen Studien, die oft einen Zeithorizont von 25 Jahren haben (ebd. 19).

Bei der langen Zeitspanne von 50 Jahren ist es wichtig, kurzfristige Einflüsse in politischen Entscheidungen, kulturellen Ereignissen, sozialen Gewohnheiten sowie in wirtschaftlichen Reaktionen zu erkennen und nicht als Grundlage für die Projektionen zu benutzen. Um die Willkür in der Szenarienbildung zu vermeiden, werden die Projektionen statt dessen auf

die Basis langfristig konstanter Tendenzen in der Politik gestellt, die geschichtlich belegbar sind. Die Grundlage der Projektionen bilden daher technische, ökonomische, politische und demographische Entwicklungen (sozio-ökonomische Faktoren). Zusätzlich werden in getrennten Projektionen potentielle Klimaveränderungen mit einbezogen, die allerdings für diese Arbeit nicht relevant sind (ebd.).

Die Studie berechnet jeweils drei Varianten: eine „Zentralprojektion“ sowie eine Minus- und eine Plusvariante. Der Unterschied besteht in der flächenmäßigen Inanspruchnahme der Landwirtschaft und der Siedlung, wobei die Zentralprojektion die langfristige Tendenz der Landnutzung beschreibt. Die Minus- und die Plusvariante stellen die Extreme der projizierten Entwicklung dar. Dabei haben die Landnutzungsklassen Landwirtschaft und Siedlung bei der Minusvariante die geringsten Flächenansprüche, so daß viel Raum für Wald- und naturnahe Flächen bleibt. Im Gegensatz dazu steht die Plusvariante (ebd. 15). Um diesen Flächenanteil zu quantifizieren, werden in der Studie historische Trends, wissenschaftliche und technische Prinzipien (oft Restriktionen), grundlegende Annahmen sowie andere langfristig angelegte Studien (vgl. Kap. 4.3.1 - 4.3.3) zugrundegelegt (ebd. 4).

Grundsätzlich ist außerdem zu erwähnen, daß die *Rhine basin study* eine hydrologische Aufgabenstellung besitzt. Dies führt dazu, daß in verschiedenen Entwicklungen unterschiedliche Landnutzungen dennoch als identisch betrachtet werden, wenn die hydrologischen Auswirkungen identisch sind. Dies ist z.B. bei Ölsaaten und Getreide der Fall, auch wenn ökonomisch ein großer Unterschied besteht.

Bestandsaufnahme, Trends, grundlegende Annahmen und Expertenwissen

Das Einzugsgebiet des Rheines ist in der Studie in 13 Regionen aufgeteilt worden. Das Einzugsgebiet des Glan ist dabei Teil der Region Rheinland-Pfalz. Bei der Landnutzung wurden 5 Klassen unterschieden: Bebaute Fläche, Landwirtschaftliche Nutzfläche, Wasserflächen, Waldflächen und andere ungenutzte Flächen (ebd. 27).

Die Landschaft wird als zweigeteilt dargestellt: Auf der einen Seite gibt es große Wald- und natürliche Flächen, während es auf der anderen Seite Siedlungs- und landwirtschaftliche Nutzflächen sind. Letztere liegen um die Siedlung herum bzw. sind eng mit ihr verflochten. Nach Annahme der Studie wird dies zukünftig dazu führen, daß insbesondere die landwirtschaftlichen Nutzflächen durch das Siedlungswachstum stark unter Druck geraten könnten und damit ein Preisverfall des Bodens als unwahrscheinlich gilt (ebd. 33).

Unter den Landnutzungsklassen kann man eine bestimmte Hierarchie erkennen, die sich in erster Linie nach den anthropogenen Ansprüchen richtet. Landnutzungen mit einer höheren Priorität setzen sich dabei bei direkten Entscheidungen gegenüber den anderen durch. Dies spiegelt sich z.B. in den Bodenpreisen der jeweiligen Landnutzung wider (ebd. 24f):

- 1) *Siedlung* besteht in der Rhine basin study aus versiegelter Fläche für Wohnen, Industrie und Gewerbe sowie Verkehrsflächen etc.. Ihr Flächenanspruch wird durch Planungen festgestellt, die auf Grundlage von demographischen und stadtplanerischen Vorhersagen der EU und der Länder erstellt werden.
- 2) *Landwirtschaft*: Der Flächenanspruch ist abhängig von technischem Fortschritt, zukünftigen Erträgen, Umweltauflagen, zukünftigem Energiepreis, EU-internem und externem Wettbewerb sowie Angebot und Nachfrage inkl. der Transportfrage von Produkten.
 - a) *Gartenbau*
 - b) *Hackfrüchte*
 - c) *Getreide und Ölf Früchte*
 - d) *Grünland und Futterbau*
- 3) *Wald und andere Nutzungen, natürliche Flächen* bleiben als Restfläche der Projektion übrig.

Die Unterteilung der landwirtschaftlichen Flächen erfolgt vor allem aus Ertragsgründen, die wiederum von der Qualität des Bodens für diese Nutzungsart mitbestimmt wird (ebd.).

In der landwirtschaftlichen Entwicklung sind verschiedene Trends zu beobachten. So geht die *Rhine basin study* in der Projektion der Trends davon aus, daß es trotz steigender Umweltauflagen weiterhin zu einem Anstieg der Erträge in der Landwirtschaft kommen wird. Begrenzt wird diese Zunahme von technischen Restriktionen des Boden-Wasser-Pflanze-Systems. Durch die erhöhte Produktivität bei gleichbleibender Nachfrage kommt es bereits heute zu einem Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzfläche, welcher der Studie zufolge zukünftig beschleunigt ablaufen wird. Dabei wird zukünftig immer mehr landwirtschaftliche Produktion in Gebäuden wie Ställen, Glashäusern etc. stattfinden. Eine EU-weite Überproduktion sorgt außerdem für hohe Preisfluktuation und Preisverfall. Im Gegensatz dazu steigt der Bodenpreis wegen des Urbanisierungsdrucks weiter an (ebd. 36). Trotz steigendem Anbau von Produkten, die nicht für die Lebensmittelproduktion bestimmt sind, wird dieser Zweig nur einen marginalen Einfluß auf die Landnutzung ausüben (ebd. 40). Insgesamt geht die Studie von der Grundannahme aus, daß sich die landwirtschaftliche Produktion auf die Flächen mit den besten Ertragsmöglichkeiten konzentrieren wird (ebd. 17).

Die *Rhine basin study* geht aufbauend auf der WRR-Studie (vgl. Kap. 4.3.2) ferner davon aus, daß der Grünlandanteil weiter steigt. Begründet wird dies zum einen mit der steigenden Bevölkerungszahl, vielmehr aber mit veränderten Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung. So gehen die Studien davon aus, daß sich der Anteil an tierischen Produkten vergrößert. Wie auch in der WRR-Studie werden die unterschiedlichen Prognosen für die Varianten der Projektionen verwendet. Dabei gilt in der Minusvariante die Annahme, daß sich die Gewohnheiten nicht weiter verändern, während in der Plusvariante ein maximaler

Anteil Mitte diesen Jahrhunderts angenommen wird. Der Anteil der Zentralprojektion liegt infolgedessen dazwischen (ebd. 86).

Die Studie ist sich indes unschlüssig, welche Art der Grünlandnutzung sich verstärkt entwickeln wird. Zum einen geht sie von 20 – 25 % mehr Intensivgrünland in den nächsten 50 Jahren aus, was sie mit der Zunahme an Vieh und dem Bedarf an tierischen Produkten begründet. Zum anderen beschreibt sie eine Tendenz zur Extensivierung und die Kombination von Acker- und Grünland im selben Betrieb, was die Frage des Futters und der Fruchtfolge erleichtern würde. Die Entwicklung hängt dabei vor allem vom Verstärkungsdruck ab, der wiederum den Bodenpreis maßgeblich mitbestimmt (ebd. 88f). In Rheinland-Pfalz geht die Studie von einer verstärkten Intensivierung aus, wobei dies besonders für die ländlichen Regionen des Einzugsgebietes des Glan unwahrscheinlich ist (vgl. Kap. 4.2).

Die Möglichkeit der Aufforstung von ehemaligen landwirtschaftlichen Nutzflächen erfolgt nach der *Rhine basin study* durch Subventionen. Dabei kommen diese bevorzugt in Regionen vor,

- die in der Nähe von Siedlungen liegen (Erholungswert),
- die offene Wälder ergeben (Erholungswert) und
- die relativ wenig Wald besitzen (Seltenheitswert).

Dabei werden vor allem Laub- oder Mischwälder aufgrund ihres Natur- und Vielfältigkeitswertes und hohe erwartete Holzerträge aufgrund des Produktionswertes gefördert. Im Rahmen der Studie scheint jedoch keine Angabe von Zahlen möglich, da zum einen bezüglich der Subventionen und der lokalen Gegebenheiten zu hohe Unsicherheit herrscht. Zum anderen existieren neben der Aufforstung andere Möglichkeiten für frei gewordene Flächen, wodurch die Folgenutzung nicht abgeschätzt werden kann (ebd. 97).

Um den Trend der Entwicklung der Siedlungsfläche festzustellen, koppelten VEENEKLAAS ET AL. in der *Rhine basin study* diese aufgrund mangelhafter Daten an die Einwohnerzahl. Als Regel gilt in Rheinland-Pfalz für 1990, daß auf 1000 Einwohner 64 ha Siedlungsfläche kommen. Rheinland-Pfalz gilt damit als raumverbrauchende Region im Einzugsgebiet des Rheines, dessen Durchschnitt bei 38 ha pro 1000 Einwohner liegt (ebd. 28). Es ist jedoch anzunehmen, daß das Einzugsgebiet des Glan weit unter diesem hohen Wert für Rheinland-Pfalz liegt, was für die Bewertung der Ergebnisse der *Rhine basin study* von Bedeutung ist.

Generell kann festgestellt werden, daß in den letzten 40 Jahren eine geringere Verstärkungsrate zu beobachten ist. In erster Linie liegt dies daran, daß das Bevölkerungswachstum nach dem Krieg höher war als ab 1970 (ebd. 60). Für die zukünftige Entwicklung geht die Studie davon aus, daß es zu keinem weiteren Anstieg des Bevölkerungswachstums kommen wird. Der Grund dafür ist vor allem in der ausbleibenden Immigration zu sehen,

was wiederum an verbesserten wirtschaftlichen Möglichkeiten in Osteuropa im Gegensatz zu denen der Rheingegend liegt.

Trotz gleichbleibender oder sogar rückläufiger Bevölkerung wird jedoch mit einem weiteren Anstieg des Flächenbedarfs gerechnet. So benötigt heute die Bevölkerung durch steigenden Wohlstand mehr Fläche. Durch die Möglichkeiten der modernen Telekommunikation wird dieser Trend ungebrochen fortlaufen, da z.B. der Wohnort nicht am selben Ort sein muß wie die Arbeit oder die Einkaufsmöglichkeit. Zusätzlich wird es durch die steigende Individualisierung und Mobilität weiter zu immer kleineren Haushalten kommen. Planungen für den Innenausbau und eine Bestandssicherung werden erst bei einem enorm erhöhten Energiepreis zu einer geringeren Ausweisung neuer Flächen führen. Die Studie geht von einem Anstieg von ca. 10 ha pro 1000 Einwohner für 40 Jahre aus. Dabei wird ein Abflachen gegen Ende des Zeitraumes erwartet, da der Ausbau der Infrastruktur als so gut wie abgeschlossen gilt (ebd. 60).

Ergebnis der Studie

Laut der Zentralprojektion wird es Mitte diesen Jahrhunderts dazu kommen, daß Teile des Landes für andere Nutzungen als Landwirtschafts- oder Siedlungsfläche frei werden. Dabei ist die freiwerdende Fläche in der Minusvariante etwa dreimal so hoch wie in der Zentralprojektion, während in der Plusvariante kein nennenswerter Flächenüberschuß entsteht.

Die Ursache wird vor allem im Rückgang des Getreideanbaus gesehen, der sowohl in der Zentralprojektion als auch in der Plusvariante um die Hälfte, in der Minusvariante um 38 % zurückgeht. Grünland als weitere Hauptnutzungsart der Landwirtschaft wird in der Zentralprojektion um 8 %, in der Minusvariante um 24 % reduziert, während es in der Plusvariante mehr oder weniger konstant bleibt. Dementsprechend nimmt die Siedlungsfläche laut Zentralprojektion in den nächsten 50 Jahren um etwa ein Drittel, in der Plusvariante um etwa zwei Drittel zu, während die Studie in der Minusvariante eine Abnahme um fast 10 % vorhersagt (ebd. 17).

Bei der näheren Betrachtung der *Zentralprojektion* geht die *Rhine basin study* in einer Prognose für Rheinland-Pfalz davon aus, daß das jährliche Bevölkerungswachstum von anfangs 0.1 % auf 0.0 % ab 2015 sinkt. Ähnliches geht aus dem Raumordnungsbericht hervor (vgl. 93). Durch den dennoch steigenden Raumbedarf der Bevölkerung wird die Siedlungsfläche in den nächsten 50 Jahren von 38 auf 44 ha (= um 6 ha) pro 1000 Personen steigen. Für Rheinland-Pfalz bedeutet dies 2040 70.3 ha / 1000 Einwohner (ebd. 65f). Auf die Siedlungsfläche umgelegt heißt dies eine Zunahme um 12 %, im Gegensatz zu einer Zunahme um 33 % im gesamten Einzugsgebiet des Rheines. Für das Einzugsgebiet des Glan muß dieser hohe Wert aufgrund der niedrigen Bevölkerung besonders in den ländlichen Gebieten bezweifelt werden (vgl. Kap. 1).

Bezüglich des Grünlandes in Rheinland-Pfalz wird in der Zentralprojektion von einer Abnahme um 15 % ausgegangen (ebd. 90). Ackerland wird um 40 % zurückgehen.

Die Grundlage der *Plusvariante* ist die Annahme, daß sowohl mit einem stärkeren Anstieg der Bevölkerung durch mehr Immigration (insbesondere aus Afrika und Osteuropa) als auch mit einem zunehmenden Raumannspruch zu rechnen ist. Dabei sinkt das Bevölkerungswachstum in Rheinland-Pfalz von 0.25 % bis 2015 auf 0.1 % bis 2040.

Der Raumannspruch nimmt durch die zunehmende Individualisierung und Möglichkeit der Vernetzung und Heimarbeit zu. Sowohl das Wohnen als auch das Einkaufen wird zunehmend auf der „Grünen Wiese“ stattfinden. Dementsprechend wird der Raumannspruch pro Einwohner stärker ansteigen als in der Zentralprojektion. Hier geht die Studie bis 2015 von 10 ha und danach von 4 ha pro 1000 Einwohnern aus (ebd. 66). Für das Siedlungswachstum bedeutet dies in Rheinland-Pfalz eine Zunahme um 33 %, im gesamten Einzugsgebiet des Rheines um 67 %.

In der Plusvariante wird es bezüglich des Grünlands in Rheinland-Pfalz zu keinen wesentlichen Veränderungen kommen (ebd. 90). Ackerland wird dennoch um 39 % zurückgehen.

In der *Minusvariante* geht die *Rhine basin study* davon aus, daß es während der ersten 25 Jahre zu einer Stabilisierung der Bevölkerungszahlen im gesamten Einzugsgebiet des Rheines kommen wird. Anschließend wird die Bevölkerung langsam zurückgehen. Für Rheinland-Pfalz heißt dies bereits bis 2015 eine Abnahme der Bevölkerung um 1.5 %, bis 2040 sogar um 5.5 %. Da der Bevölkerungsrückgang nicht mit neuen Arbeitsplätzen einhergeht, ist hier nicht mit Immigration zu rechnen (ebd. 67f).

Der steigende Energiepreis sorgt im weiteren dafür, daß Siedlungen kompakter werden. Anfangs noch steigende Flächenansprüche werden ab 2015 wieder durch Rückbau von Straßen und Gebäuden reduziert. Stadtplaner sind gezwungen, mit der bereits bebauten Fläche hauszuhalten. In Rheinland-Pfalz bedeutet dies für 2040 mit – 7 % kaum Veränderung bezüglich der bebauten Fläche (gesamtes Einzugsgebiet des Rheines: – 10 %).

Des weiteren wird in Rheinland-Pfalz mit einer Abnahme der Grünlandflächen um 30 % und der Ackerflächen um 48 % gerechnet (ebd. 90).

Bei der Frage, was sich anstelle der bisherigen Landnutzungen entwickeln wird, gibt die *Rhine basin study* mehrere Möglichkeiten vor. Dabei kann es neben Brach- oder natürlichen Flächen zum Anbau von Industrie- oder sonstigen Nicht-Lebensmittel-Pflanzen (z.B. für Biodiesel) sowie zu Aufforstungen kommen. Die Studie nimmt weiter an, daß Industriepflanzen (unter anderem Stärke, Zucker, Öl, Fette und Fasern) sowie Biodiesel und –gas nicht großflächig angebaut werden, da der Energiepreis trotz Preissteigerung immer noch zu billig bleiben wird. Einzig die Produktion von Fasern oder Spezialpflanzen (z.B. Heilkräuter) könnte lokale Bedeutung gewinnen. Im Gegensatz dazu werden Naturflächen insbesondere in dichter besiedelten Regionen wichtiger, wobei die Ausbreitung primär auf Flächen zu erwarten ist, die für die Landwirtschaft ungünstig sind. Indes wird die Extensivierung der landwirtschaftlichen Produktion als Naturschutzmaßnahme als un-

wahrscheinlich eingestuft, während die Mischnutzung von Acker-, Grünland- und sonstigen Nutzungen als möglich angesehen wird. Insgesamt wird die Aufforstung mangels besserer Alternativen als wahrscheinlichste Folgenutzung angenommen (ebd. 98ff).

4.3.5 Zusammenfassung der Studien

Die folgende Tabelle 4-1 zeigt eine Übersicht über die relevanten Ergebnisse der untersuchten Studien. Die Auswertung erfolgte im Hinblick auf die eigenen Landnutzungs-szenarien für das Einzugsgebiet des Glan, die im Kapitel 5 entwickelt werden. Zu beachten sind dabei die unterschiedlichen Zeithorizonte sowie die geltenden Bezugsräume der Studien. Am nächsten an die Aufgabenstellung dieser Arbeit heran kommt die *Rhine basin study*, die zum einen das Jahr 2040 anpeilt als auch den Teilraum Rheinland-Pfalz beinhaltet.

Tabelle 4-1: Relevante Ergebnisse verschiedener Studien von Landnutzungsentwicklungen

Studien ¹	Szenarien	Landwirt. Nutzfläche	Ackerland	Grünland	Siedlungsfläche
RBS (Kap. 4.3.4) 2040; RG / RLP	Zentralprojektion Plusvariante Minusvariante	RG / RLP k.A. / - 32 % k.A. / - 27 % k.A. / - 42 %	RG / RLP k.A./ - 40 % k.A./ - 39 % k.A./ - 48 %	RG / RLP - 8 / - 15 % ± 0 / ± 0 % - 24 / - 30 %	RG / RLP + 33 % / + 12 % + 67 % / + 33 % - 10 % / - 7 %
AUW (Kap. 4.3.1) bis 2050; Niederlande	Szenario A Szenario B Szenario C	- 14 bis -18 % - 14 bis -18 % - 26 %	k.A. k.A. k.A.	k.A. k.A. k.A.	+ 100 % + 100 % Zunahme geringer als bei A und B
WRR (Kap. 4.3.2) bis 2015; Europa	Szenario A ₀ / A ₊ Szenario B ₀ / B ₊ Szenario C ₀ / C ₊ Szenario D ₀ / D ₊	- 67 % / - 51 % - 39 % / - 28 % - 80 % / - 71 % - 52 % / - 37 %	- 87 / - 84 % - 64 / - 65 % - 90 / - 87 % - 77 / - 72 %	- 80 / - 67 % - 76 / - 63 % - 90 / - 83 % - 76 / - 65 %	k.A. k.A. k.A. k.A.
RLP	Szenario B ₊	- 10 %	- 50 %	+ 70 %	k.A.

RBS – Rhine basin study

RG – Einzugsgebiet des Rheines

RLP – Rheinland-Pfalz

AUW – Agricultural University Wageningen

WRR – Netherlands Scientific Council for Government Policy

k.A. – keine Angabe

¹ In den FAO-Studien erfolgte keine Angabe von Zahlenwerten (vgl. Kap. 4.3.3). Auf eine Darstellung wird daher verzichtet.

5 Landnutzungsszenarien

Nach der Untersuchung der Gebietseigenschaften, Rahmenbedingungen und der Studien zur Landnutzungsentwicklung in den vorhergehenden Kapiteln geht es nun um deren Zusammenführung zu möglichen Landnutzungsszenarien. Dazu werden zunächst allgemeine Charakteristika von Szenarien erläutert, um anschließend das konkrete Material des Gebietes zu sinnvollen Szenarien zu entwickeln. Nach der Erläuterung der Vorgehensweise werden aus den vorliegenden Hintergrundinformationen Szenarien entwickelt, die anschließend in der Ergebnisdarstellung präsentiert werden. Die räumliche Verteilung der Landnutzungsszenarien erfolgt anschließend anhand des Modells LADEMO in Kapitel 6.2. Sie stellen die Grundlage für die Simulation mit dem Verdunstungsmodell TRAIN dar (vgl. Kap. 6.3), welche Rückschlüsse auf den Einfluß der Landnutzung auf Grundwasserneubildung und Verdunstung erlaubt.

5.1 Allgemeines zu Szenarien

Die allgemeinen Charakteristika von Szenarien umfassen neben der Definition des Begriffes *Szenario* eine ausführliche Darstellung der Grundlagen und die anschließende Beurteilung der Unsicherheiten eines Szenarios.

5.1.1 Der Begriff des Szenarios

Die Szenariotechnik wurde um 1960 in den USA als Methode der Planung entwickelt. Dabei geht man nach BROCKHAUS (1980) bei einem Szenario von einer vorgegebenen Situation aus, von der „zukünftige Konstellationen als Abfolge hypothetischer Ereignisse in einem bestimmten Zeitraum durchgespielt“ werden. Ziel ist die Betrachtung kausaler Zusammenhänge, d.h. „die gleichzeitige Berücksichtigung unterschiedlicher Aspekte eines sich alternativ entwickelnden Problemfeldes und die kreative Beschreibung zukünftiger Situationen“ (ebd.). Durch die daraus mögliche „Ableitung der jeweiligen quantitativen und qualitativen Auswirkungen“ (DABBERT ET AL. 1999, 135) ergibt sich z.B. für Entscheidungsträger in Politik und Planungsinstanzen die Möglichkeit, denkbare Entwicklungen abzuschätzen und dementsprechend zu reagieren. Ein Szenario entspricht danach einer Projektion, die Wenn-Dann-Aussagen ohne die Angabe einer Eintrittswahrscheinlichkeit trifft. Im Gegensatz dazu steht die Prognose, die „wissenschaftlich fundierte Voraussagen von Entwicklungen, Zuständen oder Ereignissen“ (MEYERS LEXIKON 1993) trifft. Ein Simulationsergebnis, das sich auf Szenarien stützt, kann demnach nicht als Prognose zukünftiger Zustände aufgefaßt werden.

5.1.2 Grundlage eines Szenarios

Grundlage eines jeden Szenarios sind verschiedene Annahmen und Einschränkungen. So erfolgt vor der Simulation immer eine Festlegung eines Betrachtungsausschnittes, von Gesetzmäßigkeiten, Einflußgrößen und Entwicklungstendenzen. BOSSEL (1992, 37) bezeich-

net dies als „vorgegebenen Bereich von Bedingungen“. Von diesen Bedingungen hängt es ab, welches Ergebnis erzielt wird. Der bewußte Einsatz von unwahrscheinlichen, extremen oder begrenzenden Szenarien kann die Grenzen einer möglichen Entwicklung ausleuchten. Diese Reaktionsspanne kann unter Zuhilfenahme von Bestands- und Trendanalysen dazu benutzt werden, ein *wahrscheinlichstes Ergebnis* abzuleiten (vgl. BRONSTERT/FRITSCH/KATZENMAIER 1999, 38).

Neben der Auswertung des Ist-Zustands wie auch der planerischen Grundlagen etc. sind Trendanalysen hilfreich, um quantitative Aussagen zu unterstützen (vgl. VEENEKLAAS ET AL. 1994, 23). Trendanalysen führen zu grundlegenden Annahmen für die Szenarien. Dabei stellen diese Annahmen die diskussionswürdigste Grundlage eines Szenarios dar, da weder ihre Schlüssigkeit garantiert noch ihre Gültigkeit für die anvisierte Zeitspanne bewiesen werden kann. Dennoch können sie mehr oder weniger plausibel und nachvollziehbar gemacht werden. Dabei besteht eine Möglichkeit darin, sich auf andere Studien zu beziehen. Landnutzungsszenarien sollten nach VELDKAMP/FRESCO (1997, 1) mögliche Landnutzungen aus natürlichen und sozio-ökonomischen Gegebenheiten entwickeln und Rückkopplungen berücksichtigen. Im Rahmen der *Rhine basin study* entstand daher ein Überblick über andere Untersuchungen, die sich mit der zukünftigen Landnutzung im Einzugsgebiet des Rheines beschäftigen (vgl. Kap. 4.3).

5.1.3 Szenariounsicherheit

Unstimmigkeiten und Unsicherheiten in den Aussagen der Szenarien bleiben insbesondere bei Zugrundelegen unterschiedlicher Annahmen, die großen Einfluß auf die Landnutzungsentwicklung haben, bestehen. Die Entwicklung von mehreren Szenarien ist daher sinnvoll (vgl. VEENEKLAAS ET AL. 1994, 15). Die Berücksichtigung dieser *Szenariounsicherheit* ist sowohl im Vorfeld der Modellierung als auch bei der Bewertung der Simulationsergebnisse wichtig. Durch die Kopplung der Szenariounsicherheit an die *Modellunsicherheit*, die durch die anschließende Simulation an zwei Modellen bedingt ist (vgl. Kap. 6), ist es für konkretere Aussagen unabdingbar, getrennte sozio-ökonomische Analysen zum Beispiel im Bereich der landwirtschaftlichen Betriebe oder der Tourismuskonzepte zu veranlassen. Qualität und Aussagekraft von Simulationsergebnissen hängen immer von beiden Komponenten, den Szenarien und der Modellierung, ab (vgl. KÖHLER 1998, 80). Daher können planerische Konsequenzen aus den Simulationsergebnissen (vgl. Kap. 7) im Rahmen dieser Arbeit nur allgemeine Gültigkeit besitzen (vgl. Kap. 8).

5.2 Erarbeitung der Landnutzungsszenarien

Nach einleitenden Vorbemerkungen erfolgt eine Auseinandersetzung mit der Vorgehensweise, zu der neben den Zielen der Szenarien sowohl die Methodik als auch die konkreten Erarbeitungsschritte gehören. Bei der anschließenden Festlegung der Szenarienziele wird im einzelnen auf die Landnutzungsklassen eingegangen, die im Rahmen der Szenarien

relevant sind. Die Zusammenführung der Grundlageninformationen für die Erarbeitung der jeweiligen Ziele stellt hier einen Schwerpunkt dar.

5.2.1 Vorbemerkungen

Um für das Einzugsgebiet des Glan sinnvolle Szenarien aufstellen zu können, wurden aufbauend auf der Definition (vgl. Kap. 5.1) Gesetzmäßigkeiten, Einflußgrößen und Entwicklungstendenzen untersucht:

- 1) Gebietseigenschaften (vgl. Kap. 1)
- 2) Politische und planerische Rahmenbedingungen (vgl. Kap. 2)
- 3) Förderprogramme (vgl. Kap. 3)
- 4) Allgemein gültige Entwicklungstendenzen (vgl. Kap. 4.1)
- 5) Auf das Gebiet bezogene Entwicklungstendenzen (vgl. Kap. 4.2)
- 6) Vorliegende Studien über mögliche Entwicklungen der Landnutzung (vgl. Kap. 4.3)

Die Szenarien sind daher auch aus sozio-ökonomischer Sicht in einen realistischen Rahmen gesetzt. Dennoch handelt es sich nicht um ein Durchspielen realer Planungsoptionen, sondern vielmehr um Szenarien im Sinne von möglichen Entwicklungen der Landnutzung (vgl. Kap. 5.1). Sie besitzen Beispielcharakter, so daß eine Erweiterung um andere Szenarien denkbar und möglich ist. Untersucht werden in erster Linie die Konsequenzen, d.h. die möglichen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt bzw. auf die Grundwasserneubildung und die Verdunstung. Ökonomische, planerische und ökologische Zusammenhänge bilden als Hintergrundinformationen nur die Grundlage, auf der die Begründung der Szenarien erfolgt. Davon unberührt bleibt die tatsächliche Eintrittswahrscheinlichkeit der Szenarien.

Durch unterschiedliche Interpretation bzw. Bewertung der Grundlageninformationen stellen unzählige Entwicklungsmöglichkeiten der Landnutzung das Ergebnis dar. Es ist daher sinnvoll, mehrere Szenarien aufzustellen. Zum anderen ist es aber wichtig, deren Anzahl zu begrenzen, um die Übersichtlichkeit unter anderem bei der Auswertung zu gewährleisten.

5.2.2 Vorgehensweise

Ziel der Landnutzungsszenarien

Der Einfluß der Landnutzung auf Grundwasserneubildung und Verdunstung kann beispielsweise durch eine Modellierung mit einem flächendifferenzierenden Modell wie TRAIN untersucht werden (vgl. Kap. 6.3). Dabei können jedoch zusätzlich zu viele Einflußmöglichkeiten wie Boden, Hangneigung etc. die Ursache für die vorhandenen Unterschiede

de sein. Es ist daher sinnvoll, dasselbe Gebiet mit denselben Gebietseigenschaften auch unter verschiedenen anderen Landnutzungen als dem Ist-Zustand zu betrachten. Auf diese Weise können Bezüge hergestellt werden, die Schlußfolgerungen ermöglichen.

Neben der Verdeutlichung des Einflusses der Landnutzung auf die Grundwasserneubildung und die Verdunstung ist es außerdem das Ziel, den planenden Behörden und Büros eine Grundlage für Planungsentscheidungen an die Hand zu geben. So sollen die Ergebnisse der Szenarien nicht völlig aus der Luft gegriffen sein. Der Bezug auf den Ist-Zustand als *Referenzszenario* ist dazu Voraussetzung. Allerdings soll im Rahmen dieser Arbeit dem Anspruch einer bestimmten Eintrittswahrscheinlichkeit im Sinne einer Prognose nicht entsprochen werden (vgl. Kap. 5.2.1).

Methodik

Die unterschiedlichen Ziele der Szenarioerstellung in dieser Arbeit erfordert differenzierte Lösungsstrategien. So kann das Ziel, den Einfluß von Landnutzung auf Grundwasserneubildung und Verdunstung zu untersuchen, am ehesten mit extremeren Szenarien entsprochen werden. Sie sind in der Lage, die Extreme des Systems auszuleuchten und auf diese Weise den Einfluß der Landnutzung besonders deutlich darzulegen, sofern ein Einfluß vorhanden ist (vgl. Kap. 7). Im folgenden werden diese Szenarien als *Extremszenarien* bezeichnet.

Im weiteren Verlauf ist es sinnvoll, aus den verschiedenen Extremszenarien in Verbindung mit anderen Hilfsmitteln wie Trendanalysen, Planungsgrundlagen oder Studien (vgl. Kap. 5.2.1) ein sog. wahrscheinlichstes Ergebnis abzuleiten (vgl. Kap. 5.1). Diese *Realszenarien* werden im Rahmen dieser Arbeit nicht als Prognose verstanden. Dennoch können sie in Kombination mit den Extremszenarien als Grundlage für eine weitere Planung dienen. Dabei hängen die Planungsentscheidungen von den jeweiligen Zielen ab. Näheres hierzu wird im Kapitel 8 erläutert.

Neben der Unterteilung in Extrem- und Realszenarien wird bei der Festlegung der Szenarienziele darauf geachtet, daß die Unterschiede der einzelnen Landnutzungsklassen bei der Modellierung deutlich hervortreten, indem für die Hauptnutzungsformen getrennte Szenarien aufgestellt werden. Dies erscheint sinnvoll, damit auftretende Einflüsse bzw. Veränderungen nicht auf mehrere Ursachen zurückzuführen sind und damit eine Auswertung erschweren würden. Bei der Festlegung der Landnutzungsformen in den jeweiligen Szenarien ist es ferner wichtig, die Vorgaben des Modells LADEMO, mit dem die Modellierung der räumlichen Verteilung der Landnutzungsformen erfolgen wird, zu beachten (vgl. Kap. 6.3).

Zusammengefaßt bedeutet dies eine grobe Einteilung der Szenarien in Referenz-, Extrem- und Realszenarien. Bezüglich der *Landnutzungsklassen* werden die Schwerpunkte auf die Entwicklung von Siedlung, Ackerland und Wald gelegt. Dabei sind diese Landnutzungs-

klassen an den drei wichtigsten Prozessen von Landnutzungsveränderungen beteiligt (vgl. Kap. 4.1). Zusätzlich sind dies die am flächen-intensivsten und bedeutendsten Landnutzungen im Einzugsgebiet des Glan (vgl. Kap. 1). Darüber hinaus entscheidend sind die Vorgaben des Modells LADEMO, die, zumindest in der verwendeten Version, ohne Umwege keine anderen Simulationen zulassen (vgl. Kap. 6.2). Ferner ergibt sich dadurch eine sinnvolle Möglichkeit, die Anzahl der Szenarien zu begrenzen.

Erarbeitungsschritte

Auf dieser Grundlage werden neben dem Referenzszenario fünf weitere Landnutzungsszenarien entwickelt, die einen Zeitraum von etwa 50 Jahren umfassen sollen. Bezugspunkt ist dabei das Referenzszenario, das dem Ist-Zustand entspricht.

Zu entwickeln ist in erster Linie das *Szenarioziel*, d.h. die Prozentzahl, um die sich die betrachtete Landnutzungs-klasse ändern soll. Grundlage hierfür sind die in Kapitel 5.2.1 genannten Gesetzmäßigkeiten, Einflußgrößen und Entwicklungstendenzen. Eng in Verbindung mit dem Ziel stehen die beteiligten Landnutzungs-klassen, welche zum einen festgelegt, zum anderen auch in eine Rangfolge bezüglich ihrer Einwirkung auf die modellierten Prozesse gebracht werden müssen. Auch hierfür wird auf die erarbeiteten Hintergrundinformationen zurückgegriffen.

Bei der *Zusammenführung der Grundlageninformationen* soll vermieden werden, erneut die einzelnen Ergebnisse der Kapitel 1 – 4 zusammenzufassen. Vielmehr wird Wert darauf gelegt, die für die Szenarien relevanten Schlußfolgerungen zu ziehen. Die Szenarien sind auf die Unterscheidung der einzelnen Landnutzungs-klassen gerichtet, um im weiteren Verlauf den hydrologischen Einfluß deutlich machen zu können. Daher sind sie neben der Unterscheidung von Referenz-, Extrem- und Realszenario außerdem nach den einzelnen Landnutzungs-klassen eingeteilt. Weiter ist ein Blickwinkel aus dieser Sicht auch bei der Zusammenführung der Grundlageninformationen sinnvoll und hilfreich. Unter Berücksichtigung der Modellierungsmöglichkeiten mit der verwendeten Version von LADEMO werden dabei die Landnutzungs-klassen *Siedlung*, *Ackerland*, *Wald* als Szenario-Landnutzungen sowie *Grünland* und *natürliches Grünland* als beteiligte Landnutzungen betrachtet. Näheres zum Modell LADEMO und der Modellierung der Landnutzungsszenarien wird in Kapitel 6.2 erläutert.

5.2.3 Szenarienziele

Siedlung

Aus den Analysen sowohl der allgemein gültigen (vgl. Kap. 4.1) als auch der konkret auf das Einzugsgebiet des Glan bezogenen Trends (vgl. Kap. 4.2) läßt sich eine *Verstädterungstendenz* deutlich erkennen. Diese Tendenz wird des weiteren in den untersuchten Studien zur Landnutzungsentwicklung (vgl. Kap. 4.3) und in den Prognosen, die den

Planungen zugrundeliegen (vgl. Kap. 2), bestätigt. Ursachen dieser Entwicklung werden im erhöhten Raumanpruch der Bevölkerung für Wohnen, Arbeiten und Einkaufen etc. gesehen, aber auch in einem verstärkten Ausbau im Zuge von Fremdenverkehr, Tourismus oder Industrieflächen. Die Entwicklung ist insbesondere aus wirtschaftlicher Sicht erwünscht, wie man an einer Reihe von Förderprogrammen ablesen kann (vgl. Kap. 3). Das Planungsziel, den Landverbrauch durch die Zersiedelung zu minimieren, indem die Siedlungsentwicklung vorwiegend auf Bestandssicherung, -umnutzung und Innenausbau gerichtet sein soll, scheint nicht ausreichend umgesetzt werden zu können. So gehen sowohl die Prognosen als auch die berücksichtigten Studien davon aus, daß die Expansion der Siedlungs- und Gewerbegebiete sich zwar verlangsamt, aber dennoch fortschreiten wird.

Je nach Szenario ist das Ausbreitungsmaß unterschiedlich. So liegt die Schwankungsbreite bei den Szenarien der Studien zwischen – 10 % und + 100 % Siedlungsentwicklung, wobei der unterschiedliche Zeithorizont und Geltungsbereich berücksichtigt werden muß (vgl. Kap. 4.3.3). Für das Einzugsgebiet des Glan sind insbesondere die Szenarien der *Rhine basin study* interessant, die bezogen auf Rheinland-Pfalz zwischen – 7 % und + 33 % Siedlungsentwicklung bis 2040 annehmen. Im Verhältnis zu den Annahmen für das gesamte Einzugsgebiet des Rheines von bis zu + 67 % kann man diese als relativ niedrig einstufen.

Dabei zeigen die Trendanalysen des Einzugsgebietes des Glan zwischen 1950 und einer Schätzung bis 2000 noch geringere Steigerungsraten. So erhöhte sich der Siedlungsanteil in diesem Zeitraum im Gebiet der kreisfreien Stadt Kaiserslautern um etwa 12 %, während dieser im Landkreis Kaiserslautern bzw. im Landkreis Kusel, also dem ländlichen Teil des Einzugsgebietes, nur um ca. 5 % bzw. 1 % stieg. Im Durchschnitt ergibt sich dadurch eine Zunahme an Siedlungsfläche in den letzten 50 Jahren von 7 % (vgl. Kap. 4.2).

Für die Entwicklung der Szenarien werden die Annahmen zugrundegelegt, daß sich das Siedlungswachstum weiter verringern wird. So werden zum einen ein rückläufiges Bevölkerungswachstum bzw. ab 2004 sogar rückläufige Bevölkerungszahlen in der Westpfalz erwartet (vgl. Kap. 4.2). Zum anderen wird angenommen, daß die infrastrukturelle Grundversorgung an Straßen etc. bereits oder zumindest nahezu fertiggestellt ist. Zusätzlich wird sowohl in den Studien als auch in den Grundlagen für die Planungen davon ausgegangen, daß weiter mit weniger günstigen wirtschaftlichen Möglichkeiten im Einzugsgebiet zu rechnen ist. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn man die Verbindung zu der europäischen Entwicklung in Richtung Osten zieht.

Der Schwerpunkt der Siedlungsentwicklung im Einzugsgebiet des Glan wird voraussichtlich im Raum Kaiserslautern und der Landstuhler Senke liegen (vgl. Kap. 2). Da eine Modellierung der Szenarien aus Gründen der Vergleichbarkeit über das gesamte Gebiet erfolgt, wird für das realitätsnahe Szenario ein Siedlungswachstum von + 6 % angenommen. Dabei liegt wiederum die Annahme zugrunde, daß sich die Tendenz, pro Einwohner mehr bebaute Fläche zu benötigen, auch weiterhin fortsetzt.

Für die räumliche Entwicklung sind in der Regel insbesondere bei der Siedlungsentwicklung sog. *Entwicklungsachsen* ausschlaggebend. Es werden daher bei der Entwicklung der Szenarien neben den betroffenen Landnutzungen und einer Prozentzahl für die Veränderung zusätzlich eben solche festgelegt. Dabei gelten bereits bestehende, größere Straßen als wichtiger Anhaltspunkt.

Nach bisherigen Erkenntnissen erfolgt die Siedlungsentwicklung weiter in erster Linie auf Acker-, Grünland- und natürlichen Grünlandflächen, wobei keine Angaben zur Priorität gemacht werden. Stehen jedoch verschiedene Landnutzungen *gleichwertig* zur Verfügung, so hängt die Bebauung vor allem vom Bodenpreis ab. Normalerweise ist dieser bei natürlichem Grünland am geringsten und bei ertragreichem Ackerland am höchsten. Da im Einzugsgebiet des Glan jedoch von ertragsschwächeren Böden ausgegangen werden kann und der landwirtschaftliche Strukturwandel vor allem Ackerflächen betrifft (vgl. 4.3), wird bei der Entwicklung der Szenarien eine verstärkte Aufgabe von Ackerflächen im Gegensatz zu Grünlandflächen angenommen.

Acker- und Grünland

Aus den Trendanalysen der bisherigen Entwicklung im landwirtschaftlichen Sektor geht hervor, daß der agrarische Strukturwandel in den letzten Jahrzehnten zu einem Rückgang der landwirtschaftlichen Produktionsflächen geführt hat. Davon betroffen ist insbesondere das Ackerland (vgl. Kap. 4). Im Einzugsgebiet des Glan kann man diesen Trend ebenfalls beobachten. Bezüglich des Grünlandes sind allgemeine Aussagen schwer zu treffen, jedoch erkennt man in den Analysen des Einzugsgebietes des Glan eine leichte Zunahme des Grünlandes. Zurückgeführt wird dies auf eine erhöhte Umwandlung von Acker- zu Grünland, die durch ertragsschwache Böden und sich verändernde Agrarsubventionen verursacht wird (vgl. Kap. 3). Grünland wird darüber hinaus durch die Gesetzgebung z.B. im Bereich des Hochwasserschutzes und des Umweltschutzes begünstigt, indem *Überschwemmungsgebiete* festgesetzt werden (vgl. Kap. 2). Dabei üben diese eine ähnliche Wirkung auf die Ausbreitung von Grünland aus wie Entwicklungsachsen. Sie zeichnen sich dadurch aus, daß zum einen die Umwandlung von Acker- in Grünland sowie die Aufforstung gefördert und zum anderen deren Bebauung sowie die Neuanlage von Ackerflächen möglichst verhindert werden soll.

In den Studien gibt es unterschiedliche Varianten und Möglichkeiten, wie die weitere Entwicklung im landwirtschaftlichen Sektor aussehen wird. In erster Linie hängt diese von der weiteren politischen Entwicklung insbesondere der Förderpolitik der EU ab. So wird die Entwicklung am ehesten zwischen den Extremen des völlig freien Marktes und der weiteren Finanzierung der Landwirte durch die EU liegen. Als Bezug für die Entwicklung der Szenarien für das Einzugsgebiet des Glan wurde daher vor allem auf die Trendanalysen des Gebietes und die *Rhine basin study* zurückgegriffen. Letztere geht in Rheinland-Pfalz von einem Rückgang des Ackerlandes zwischen 39 % und 48 % und von einem Rückgang des Grünlandes zwischen ± 0 % und 30 % bis 2040 aus (vgl. Kap. 4.3). Die Trendanalysen

im Einzugsgebiet des Glan sehen bisher nicht derart extrem aus. So reduzierte sich die ackerbauliche Nutzfläche zwischen 1960 und 1995 unter Berücksichtigung der Einschränkungen der Aussagekraft von 31 % auf 25 %, während die Grünlandflächen im gleichen Zeitraum von fast 16 % auf über 18 % stiegen (vgl. Kap. 4.2).

Für die weitere Entwicklung der ackerbaulichen Nutzung im Einzugsgebiet des Glan wird davon ausgegangen, daß die Subventionspolitik der EU mit den Ausgleichszahlungen zunächst beibehalten wird, wenn auch eine Angleichung an die Weltmarktpreise erfolgen wird. Die dadurch bedingte Senkung der Zuwendungen führt in Verbindung mit den steigenden Unsicherheiten der Weltmarktpreise im Gegensatz zu den garantierten Preisen der EU vor der Agenda 21 zu vermehrter Stilllegung landwirtschaftlicher Fläche. Zusätzlich stellt sich in weiten Teilen das Problem einer ungeklärten Hofnachfolge und wachsender Kosten durch Umweltauflagen sowie steigender Energiepreise.

In den berücksichtigten Studien wird von einem verstärkten Rückgang des Ackerbaus und der Grünlandnutzung ausgegangen. Auch in der Agrarstrukturellen Entwicklungsplanung Lauterecken wird für die nächsten 10 – 15 Jahre das Freiwerden von etwa 14 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche durch Produktionsaufgaben prognostiziert, wobei die ertragsreicheren Böden weiter verpachtet werden und zur Stabilisierung der verbleibenden Betriebe beitragen (vgl. GfL 1998, 74f). Im Einzugsgebiet des Glan liegt der wirtschaftliche Schwerpunkt in der Landwirtschaft. Daher wird angenommen, daß politisch motiviert weitere Subventionen erfolgen werden, um übermäßige Stilllegungen in der benachteiligten Region zu verhindern. Aus diesem Grund geht die Einschätzung für das Realszenario von einer Abnahme von „nur“ 18 % aus, während im Extremszenario der *Rhine basin study* ein Rückgang von 41 % angenommen wird.

Neben der Umwandlung von Acker- in Grünlandflächen ist für die Landnutzungsentwicklung die Verstädterung besonders ausschlaggebend. Die Landnutzung in Deutschland ist in erster Linie anthropogen geprägt. Daher werden die Ansprüche an die Siedlungsfläche in dieser Arbeit insbesondere bei Berücksichtigung der Analyse der Siedlungsentwicklung (s.o.) als bedeutender eingeschätzt als die der Grünlandentwicklung. Zusätzlich zur Siedlungs- und Grünlandentwicklung wird in den Szenarien die Förderungspolitik der Landesregierung und der EU berücksichtigt, indem die Aufforstungsprogramme für ehemalige Ackerstandorte als dritte Möglichkeit für eine Umwandlung dieser Landnutzung hinzugezogen werden.

Wald

Betrachtet man die flächenmäßige Entwicklung des Waldes bzw. des Forstes, so stellt man eine leichte Ausbreitung fest (vgl. Kap. 4.3). Insbesondere Förderprogramme des Landes und der EU sorgen für eine weitere Zunahme auf ehemals landwirtschaftlich genutzten Flächen. Ferner werden im Zuge von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen z.B. in Überschwemmungsgebieten Aufforstungen durchgeführt. Neben der Aufforstung sind außer-

dem Flächen betroffen, die der Sukzession überlassen werden. Hierzu zählen zum Beispiel militärische oder auch landwirtschaftliche Flächen wie Weinberge, aber auch natürliches Grünland. Im Einzugsgebiet des Glan bedeutet dies zwischen 1950 und 1997 eine Zunahme von 39 % auf 42 % (vgl. Kap. 4.2). Dabei erfährt der Wald in einer Prognose bis 2000 einen weiteren Anstieg um etwa einen halben Prozentpunkt. Weitere Studien zur Waldentwicklung liegen nicht vor.

Bei der Entwicklung des Waldszenarios wird von einer weiteren Expansion der Waldfläche ausgegangen. Insbesondere der beschleunigte agrarische Strukturwandel und die Aufgabe verschiedener militärischer Flächen wird dafür als Anhaltspunkt genommen. Besonders in Teilregionen ist die Entwicklung von + 20 % durchaus wahrscheinlich, wie z.B. in der Region um den heutigen Truppenübungsplatz Baumholder. Dieser ist zwar im Gegensatz zu vielen anderen militärischen Gebieten in Rheinland-Pfalz momentan nicht von der Konversion betroffen, jedoch läßt sich dies für die Zukunft nicht ausschließen. Aus diesem Grund wird angenommen, daß in diesem Bereich eine überdurchschnittliche Waldentwicklung einsetzen könnte. Das Szenarioziel von + 20 % erscheint nur in Bereichen realistisch, weshalb hier nicht von einem Realszenario gesprochen werden kann.

Natürliches Grünland

Natürliches Grünland ist eine Landnutzungs-kategorie, die es in Deutschland nur noch an exponierten und unzugänglichen Stellen gibt. Im Einzugsgebiet des Glan sind dies zum Beispiel abgelegene grenznahe Standorte in den Mittelgebirgen, die kaum von Infrastruktur erschlossen sind. Außerdem weisen oft auch militärische Übungsgelände diese Landnutzungsform auf, wie das z.B. auf dem Truppenübungsplatz Baumholder nordwestlich von Lauterecken der Fall ist. Durch Umwandlung dieser verbliebenen Standorte in nutzbare Fläche in Form von Siedlungs-, Gewerbe- oder land- und forstwirtschaftliche Fläche wird diese Landnutzungs-kategorie immer weiter dezimiert (vgl. Kap. 4.1). Ferner trägt auch die natürliche Sukzession zur Verbuschung und späteren Verwaldung der eher offenen Flächen bei. Zur konkreten Entwicklung liegen keine genauen Angaben vor, jedoch wird im Folgenden in den Szenarien von einer natürlichen oder geplanten Bewaldung bzw. Aufforstung ausgegangen (s.o.).

5.3 Ergebnisse der Landnutzungsszenarien

Aus diesen Überlegungen heraus werden neben dem *Referenzszenario* Szenarien für die Landnutzungs-klassen Siedlung, Ackerland und Wald entwickelt. Bei den Klassen Siedlung und Ackerland erfolgt eine weitere Unterteilung in *Real- und Extremszenarien*. Dabei bilden die Erkenntnisse aus den zusammengeführten Hintergrundinformationen die Grundlage der als realistisch bezeichneten Szenarien.

Grundsätzlich wird hier davon ausgegangen, daß sich die politischen Rahmenbedingungen nicht wesentlich verändern werden. Dies bedeutet, daß weder die Entwicklung eines völlig

freien Marktes noch die Beibehaltung der Subventionspolitik als für die Zukunft wahrscheinlich angenommen werden. Dabei wird weiter erwartet, daß die Trends der letzten Jahrzehnte in ähnlichem Maße anhalten. So wird es im Rahmen der Szenarien dieser Arbeit zu einer weiteren Expansion von Siedlungsfläche und Wald kommen, während Ackerflächen eine weitere Kontraktion erfahren (vgl. Kap. 5.2.3).

Aufbauend auf diesen Realszenarien werden die Extremszenarien entwickelt, wobei diese immer noch im Rahmen des Möglichen liegen sollen. Um dennoch einen deutlichen Unterschied zu den realistischen Szenarien zu erhalten, sollen die Extremszenarien etwa die doppelte Landnutzungsänderung aufweisen.

5.3.1 Referenzszenario

Das Referenzszenario stellt den Ist-Zustand der Landnutzung des Einzugsgebietes des Glan dar. Dabei wurde auf Daten der CORINE-Landnutzungskartierung zurückgegriffen, welche ebenfalls die Grundlage für die weiteren Modellierungen sind (vgl. Kap. 6). Die Daten entstammen einer Satellitenbilddauswertung, die etwa den Zeitraum zwischen 1989 und 1993 abdeckt. Das Referenzszenario bedarf keiner Modellierung im Modell LADEMO, sondern kann direkt in das Modell TRAIN eingelesen werden. Es dient damit unter anderem der Verifizierung des Modells sowie als Bezugspunkt für weitere Planungsaussagen.

5.3.2 Verstädterungsszenarien

Bei den Verstädterungsszenarien soll eine Unterteilung in Real- und Extremszenario erfolgen, um vorhandene hydrologische Einflüsse deutlich sichtbar zu machen. Es sollen insbesondere die Unterschiede zwischen Siedlungsflächen und anderen Nutzungen hervorgehoben werden. Dabei kann in der Auswertung ein Fokus auf Gebiete mit besonders starker Siedlungsentwicklung wie dem Raum Kaiserslautern und der Landstuhler Senke gelegt werden (vgl. Kap. 7). Für das Realszenario wird eine Siedlungsentwicklung von + 6 % angenommen, während bei dem Extremszenario von einer Steigerung um 20 % ausgegangen wird. Die Entwicklung geht dabei auf Kosten von natürlichem und bewirtschaftetem Grünland sowie von Ackerland.

5.3.3 Ackerszenarien

Bei den Ackerszenarien wird dem agrarischen Strukturwandel folgend von einer Abnahme der ackerbaulichen Fläche ausgegangen. Dabei soll insbesondere eine hydrologische Auswertung der Landnutzungsklassen Acker- und Grünland erfolgen. Eine nähere Betrachtung der Überschwemmungsgebiete, wo eine bevorzugte Umwandlung stattfinden soll, dient der genaueren Unterscheidung. Dabei wird im gesamten Einzugsgebiet des Glan im Realszenario eine Abnahme um 18 %, im Extremszenario um 41 % zugunsten von Siedlung, Grünland und Wald erwartet.

5.3.4 Waldszenario

Schwerpunkt des Waldszenarios ist die hydrologische Unterscheidung zwischen Wald und Flächen des natürlichen Grünlands. Für die Auswertung eignet sich insbesondere die Region um den heutigen Truppenübungsplatz Baumholder, der sich nordwestlich von Lauterecken im Übergangsbereich zum Einzugsgebiet der Nahe befindet. Um eine deutliche Veränderung in diesem Gebiet zu erreichen, wird bei der Entwicklung des Szenariozieles über das gesamte Einzugsgebiet eine Zunahme der Waldfläche um 20 % festgelegt.

5.4 Zusammenfassung der Landnutzungsszenarien

Die Szenarien wurden auf Grundlage der Gesetzmäßigkeiten, Einflußgrößen und Entwicklungstendenzen, die in den Kapiteln 1 – 4 herausgearbeitet wurden, entwickelt. Sie stellen keine Prognose, sondern vielmehr eine Reihe möglicher Entwicklungen für das Untersuchungsgebiet dar. Dabei wird davon ausgegangen, daß sich weder die Tendenzen der Vergangenheit noch die politischen Rahmenbedingungen wesentlich ändern werden. Neben Realszenarien haben Extremszenarien das Ziel, vorhandene hydrologische Auswirkungen der Landnutzungsklassen zu verdeutlichen, aber auch eine Verstärkung der Trends als Möglichkeit einzubeziehen.

Die folgende Tabelle 5-1 zeigt eine Übersicht über die entwickelten Landnutzungsszenarien für das Einzugsgebiet des Glan. Darin enthalten sind bereits weitergehende Charakteristika wie die bei der Modellierung berücksichtigten Parameter. Diese beziehen sich auf die räumliche Modellierung der Szenarien mit dem Modell LADEMO, die in Kapitel 6.2 näher erläutert wird.

Tabelle 5-1: Übersicht über die Landnutzungsszenarien (ohne Referenzszenario)

Szenarioname	Kontraktionsszenarien		Expansionsszenarien		
	Acker_Real	Acker_Extrem	Waldszenario	Stadt_Real	Stadt_Extrem
Landnutzungs- klasse, die sich um x %	Ackerland - 18 % - 41 %		Wald + 20 %	Siedlung + 6 % + 20 %	
auf Kosten / zu Gunsten von ¹ ändern soll.	1. Siedlung 2. Grünland 3. Wald		1. nat. Grünl. 2. Grünland 3. Ackerland	1. natürliches Grünland 2. Ackerland 3. Grünland	
Berücksichtigte Parameter ²	5. Entwicklungsachse 3. Boden 3. Hangneigung 1. Exposition		3. Boden	5. Entwicklungsachse 3. Boden 2. Hangneigung	

¹ Die Zahlen entsprechen der festgelegten Priorität.

² Die Parameter werden bei der räumlichen Modellierung der Szenarien mit dem Modell LADEMO berücksichtigt (vgl. Kap. 6.2). Die Zahlen entsprechen der festgelegten Gewichtung.

6 Modellierungen

Im Rahmen dieser Arbeit sollen die in Kapitel 5 entwickelten Landnutzungsszenarien sowohl räumlich modelliert als auch deren Grundwasserneubildung und Verdunstung an einem Verdunstungsmodell simuliert werden. Nach einer kurzen Einführung in Modelle wird detailliert auf die verwendeten Modelle LADEMO und TRAIN eingegangen. Dabei wird zum einen deren Funktionsweise beschrieben, zum anderen aber auch die Modellierung im Rahmen dieser Arbeit, bevor eine Bewertung und ein Fazit dazu erfolgt. Bei dem Verdunstungsmodell TRAIN wird zusätzlich auf die Verifizierung der Modellierung eingegangen.

6.1 Allgemeines zu Modellen

Modelle sind Abbildungen der Wirklichkeit. Sie stellen damit nur Eigenschaften des Vorbildes oder von etwas Gedachtem dar, die als wesentlich angesehen werden. Ziel ist es, durch diese Vereinfachung zu einem überschaubaren, mathematisch berechenbaren Modell oder zu einem, das für experimentelle Untersuchungen geeignet ist, zu kommen (vgl. BROCKHAUS 1980). Durch mathematische oder physikalische Modelle erfolgt damit eine Darstellung oder Nachbildung physikalischer, technischer, biologischer, psychologischer oder ökonomischer Prozesse. Diese erlauben eine wirklichkeitsnahe, jedoch einfachere, billigere oder ungefährlichere Untersuchung als das Original.

Im Modell werden veränderliche Merkmale gezielt manipuliert. Dabei wird mindestens eine der Variablen (*unabhängige Variable*) während der Modellierung nach einem vorher festgelegten Plan verändert. Ziel ist es, den Einfluß dieser Veränderung auf die *abhängigen Variablen* festzustellen. Bei der deterministischen Simulation werden die Problemdaten und Entscheidungsregeln im Modell fest vorgegeben, während bei der stochastischen Simulation zufällige Einflüsse (z.B. unvorhergesehene Umweltbedingungen) auf den Ablauf einwirken (vgl. BROCKHAUS 1980). Abstraktionsgrad und künstliche Abgeschlossenheit des simulierten Systems schränken die Aussagekraft einer Simulation ein.

In der Landschaftsplanung sind Modelle vielseitig einsetzbar, da sich diese vorzugsweise mit langfristigen, raumbezogenen Sachverhalten beschäftigt (vgl. LESER 1991, 74). So können beispielsweise wie in dieser Arbeit zukünftige Verteilungen von Landnutzungsänderungen simuliert werden oder die Grundwasserneubildung und Verdunstung für bestimmte Landnutzungen. Bislang werden hydrologische Modelle hauptsächlich zur Simulation von Auswirkungen spezieller wasserwirtschaftlicher Maßnahmen bzw. anderer Großprojekte z.B. im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP) verwendet (vgl. HAPE 1995, 12).

Obwohl der Anwendbarkeit der Modelle für landschaftsökologische Bewertungen Grenzen gesetzt sind, sind diese für die Regional- und Landesplanung mittlerweile unverzichtbar. Grenzen sind in erster Linie durch die modellbedingte Vereinfachung der in aller Regel

äußerst komplexen Realität bedingt. Dies beinhaltet zum einen die künstliche Abgeschlossenheit des simulierten Systems wie auch die Abstraktion der modellinternen Prozesse von der Wirklichkeit. Der Detaillierungsgrad des Modells ist dabei abhängig von der Aufgabenstellung und der Zielsetzung der Modellierung.

Wichtig ist zudem, daß der Detaillierungsgrad der einzelnen Modellierungsschritte aufeinander abgestimmt sein muß. So führt zum Beispiel eine detaillierte Parametrisierung nur bei ebenso genauen Datensätzen zu einem aussagekräftigen Ergebnis. Dabei ist der Umgang mit den Ergebnissen das eigentlich wesentliche an der Modellierung, da eine Interpretation immer in Abhängigkeit des *Nadelöhrs* bei der Simulation geschehen muß. „Jedem Anwender muß klar sein, daß nichts aus dem Modell ‚herausgeholt‘ werden kann, was nicht vorher ‚hineingesteckt‘ worden ist“ (KÖHLER 1998, 120). Insbesondere in der politischen und planerischen Praxis besteht durch die *Wissenschaftlichkeit* häufig die Gefahr der *Modellgläubigkeit*.

Vor jeder Modellanwendung ist es daher unabdingbar, die Fragestellung bzw. das konkrete Problem dazu genau zu erfassen. Dabei ist das Modell dem Problem anzupassen und nicht umgekehrt (vgl. LESER 1991, 77). Aus der Problembeschreibung folgt die Festlegung des Modellzwecks und damit der Systemgrenzen. Nachdem eine genaue Überprüfung der Modellstruktur und der Anwendbarkeit des Modells auf die jeweilige Aufgabenstellung durchgeführt wurde, muß darüber hinaus eine gewissenhafte Überprüfung der Parameter erfolgen, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu gewährleisten.

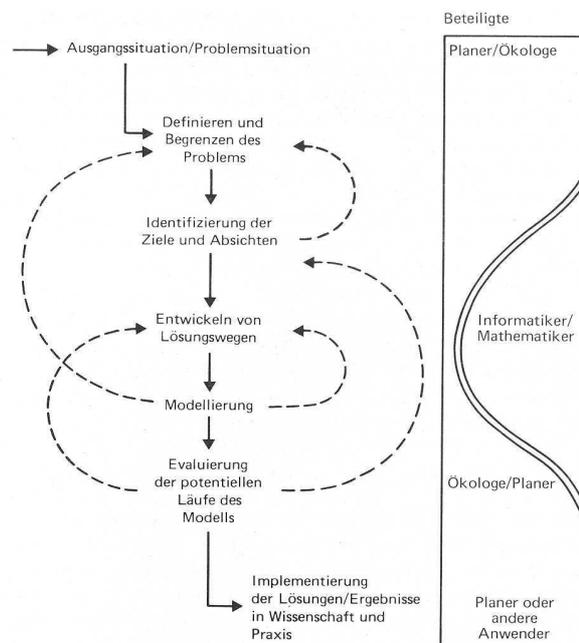


Abbildung 6-1: Grundschrte der Systemanalyse, Überführung des Modells in die Praxis mit den jeweils Beteiligten (LESER 1991, 91)

Die Vorteile einer Modellierung liegen klar auf der Hand. So erhöhen Modelle in jedem Fall das Verständnis für komplexe Zusammenhänge der Wirklichkeit. Insbesondere über die Rückkopplung der Ergebnisse und deren Interpretation zu den Modellentwicklern können die modellinternen Prozesse und Zusammenhänge laufend verbessert werden (vgl. Abbildung 6-1). Modelle bieten auf diese Weise die Möglichkeit, komplexe Wechselwirkungen zum einen zu verstehen, zum anderen aber auch zu quantifizieren. Als Beispiel ist hier die Modellierung der Grundwasserneubildung und Verdunstung im Rahmen dieser Arbeit zu nennen (vgl. Kap. 6.3).

Modellierungen können flexibel angewendet werden, z.B. indem verschiedene Simulationen mit einzelnen Szenarien durchgeführt werden. Im Rahmen dieser Arbeit werden unterschiedliche Landnutzungsszenarien zum einen räumlich modelliert (vgl. Kap. 6.2), zum anderen als Grundlage für die weitere Simulation der Grundwasserneubildung und der Verdunstung verwendet (vgl. Kap. 6.3). Modelle bieten demnach eine Flexibilität bezüglich verschiedener Datensätze, aber auch bezüglich neuer Erkenntnisse in der Wissenschaft wie in der Klimaforschung oder in politischen Rahmenbedingungen (vgl. VEENEKLAAS 1994, 116). Dementsprechend können Modelle außerdem unter Umständen bei gleichen Parametern bzw. bei Eingabe der neuen Parameter auf andere Gebiete oder Maßstäbe übertragen werden. Die wesentliche Einschränkung liegt hier in erster Linie in der Fragestellung der Modellierung, in den Systemgrenzen sowie in der grundlegenden Modellstruktur und in modellinternen Prozessen. Dabei liegt das Problem der Übertragung oft in einem Skalierungsproblem, da bestimmte Prozesse auf einem entsprechenden Skalierungsniveau ablaufen und dadurch nicht oder nur schwer übertragen werden können. Nach einem Skalenwechsel können demnach ganze (für die Modellierung wichtige) Prozesse hinzukommen oder verschwinden. Beim sog. *Upscaling* müssen Prozesse oft vereinfacht werden, da man sonst schnell an die Grenzen von Rechnerkapazitäten etc. stößt.

Im folgenden wird näher auf die spezifischen Eigenschaften und modellinternen Prozesse der in dieser Arbeit verwendeten Modelle LADEMO und TRAIN eingegangen. Dabei stellen diese nicht das Ergebnis eines Auswahlverfahrens dar, sondern einen Teil der Aufgabenstellung. Die Modelle sind für die jeweilige Fragestellung in dieser Arbeit konzipiert worden, so daß deren Anwendbarkeit dafür gewährleistet ist. Ziel ist es, die Modelle anzuwenden und für den Einsatz in der Landschaftsplanung zu überprüfen. Dies geschieht exemplarisch an der Modellierung der Landnutzungsverteilung sowie der entsprechenden Grundwasserneubildung und Verdunstung im Einzugsgebiet des Glan.

6.2 Modellierung der Landnutzungsszenarien mit LADEMO

6.2.1 Was ist LADEMO?

LADEMO bedeutet *LANduse change DEvelopment MOdel*. LADEMO ist ein Modell, das ausgehend von einem angenommenen Ausgangszustand (z.B. dem Ist-Zustand) eine sukzessive Veränderung der Landnutzung simuliert. LADEMO kann sowohl den Rückgang als auch die Ausbreitung einer Landnutzungsform modellieren (Kontraktions-, Expansionszenario). Eine solche Änderung begründet sich in erster Linie auf Nachbarschaftsbeziehungen und erst in zweiter Linie auf andere wichtige Parameter, die der Benutzer hinzufügen kann. Die genaue Funktionsweise wird weiter unten beschrieben.

Den Grad und die Richtung der simulierten Entwicklung gibt der Benutzer dem Modell vor. Dabei wird die Richtung in Form von sich zu verändernden Landnutzungsklassen, der Grad in Form einer Prozentzahl angegeben. Im Folgenden wird dies als Szenarioziel bezeichnet.

LADEMO ist ein Modell, das im Zuge des EU-weiten Forschungsvorhabens EUROTAS¹ am Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) von Menzel entwickelt wurde (MENZEL/BLONGEWICZ 2000, 1). Die Programmierung erfolgte mit FORTRAN '77, wobei außerdem eine benutzerfreundliche Schnittstelle für das Softwareprodukt ArcView (ESRI) erstellt worden ist. Dieser Aufsatz zu ArcView befand sich während der Bearbeitung der Szenarien in der Testphase.

LADEMO ist ein rasterorientiertes Modell, das entsprechende Eingabedaten (sog. Grids) verarbeiten kann. Außerdem ist darauf zu achten, daß sowohl die Auflösung der Daten als auch die räumliche Ausdehnung und Lage identisch (koinzident) sind. Im Falle des Glangebietes haben alle Grids eine Pixelauflösung von 500 m und eine Größe von 94 x 100 Pixel. Die räumliche Lage wird in diesem Fall in Gauß-Krüger-Koordinaten bestimmt.

Bei der Datenaufbereitung wurde das Einzugsgebiet des Glan mit den Landnutzungen des *CORINE Landcover Grids* (Statistisches Bundesamt) und anderen Parametern wie z.B. den Bodentypen oder der Hangneigung verschnitten. Auf diese Weise entstanden die entsprechenden Ausgangsgrids für die Modellierung.

6.2.2 Grundidee

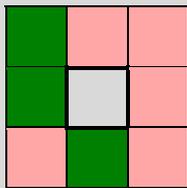
Die Grundidee von LADEMO ist, daß sich einzelne Landnutzungsformen nur dort entwickeln, wo es diese bereits in der direkten Nachbarschaft gibt. Des weiteren geht LADEMO davon aus, daß ein verstärktes Vorkommen einer Landnutzungsform in der Umgebung ihre Entwicklung stärker fördert als ein selteneres Vorkommen. Dies wird bei der sog. *Nach-*

¹ vgl. URL: <http://www.hrwallingford.co.uk/projects/EUROTAS/index.html> [Stand: 18.9.2000].

barschaftsanalyse umgesetzt, die in Form eines Exkurses näher erläutert wird. Die Nachbarschaftsanalyse ist das Kernstück der Simulation mit LADEMO.

Exkurs: Nachbarschaftsanalyse

Um eine Unterscheidung treffen zu können, wo sich welche Landnutzungsformen wie stark entwickeln oder zurückbilden, ist es notwendig, die Umgebung der einzelnen Pixel zu erfassen. Dies geschieht am einfachsten, wenn man jedes Pixel einzeln betrachtet.



In diesem Beispiel hat das gerade betrachtete Pixel drei Pixel Wald (dunkelgrau: $n = 3$) und fünf Pixel Stadt (hellgrau: $n = 5$) als Nachbarn.

Abbildung 6-2: Nachbarschaftsanalyse

Jedes Pixel hat acht Nachbarpixel. Das Szenarioziel und die Anzahl der verschiedenen Landnutzungsformen in der Nachbarschaft ist entscheidend dafür, ob und wohin sich das betrachtete Pixel ändert. Bei einem Verstärkungsszenario werden sich beispielsweise zuerst die Pixel umwandeln, deren acht Nachbarpixel auch Stadtpixel sind. Bei einem Kontraktionsszenario werden zuerst die Pixel verändert, deren acht Nachbarpixel die Landnutzungsklasse aufweisen, in die sich die zurückbildende Landnutzung wandeln soll. Dabei spielen die angegebenen Prioritäten bei LADEMO nur eine sekundäre Rolle, wie im Kapitel 6.2.3 näher beschrieben wird.

Unabhängig von den Nachbarschaftsbeziehungen zu den umliegenden Pixeln gibt es andere Einflußgrößen, die eine Entwicklung der Landnutzungsformen beeinflussen können. Beispielsweise kann man davon ausgehen, daß eine Ackerflächennutzung nicht auf für Ackerbau ungünstigen Böden (z.B. Staunässeböden) oder auf Steilhängen erfolgt. Diese Einflußgrößen wie Boden, Hangneigung und Exposition sind demnach wichtige Faktoren, die es zu berücksichtigen gilt. Gehen sie in ein Modell ein, nennt man sie *Parameter*. Außerdem kann man beispielsweise entlang von Straßen oder Tälern Entwicklungsachsen erkennen, an denen eine städtische Entwicklung bevorzugt erfolgt.

Grundregeln für das Einbringen dieser Parameter in das Modell LADEMO legt der Benutzer selbst fest. Dazu gehört sowohl die Auswahl, welche Parameter berücksichtigt werden sollen, als auch die subjektive Klassifizierung und Gewichtung der Parameter. Sowohl die Klassifizierung als auch die Gewichtung erfolgen immer in Hinblick auf das Szenarioziel. Ziel von LADEMO ist es, eine zweite Grundlage zu schaffen, auf der die Entwicklung der Landnutzungsformen erfolgt. Diese Regeln sind immer subjektiv und damit willkürlich, da deren Grundlage nicht auf Expertenwissen, sondern auf Erfahrungswerten beruht, und

damit nicht bewiesen werden kann. Dabei ist es wichtig zu erwähnen, daß im Bereich der Landschaftsentwicklung bisher noch keine fundierten, allgemein gültigen Kenntnisse existieren und so immer auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden muß. Modelleigene Vorschriften für die Klassifizierung und die Gewichtung werden im *Exkurs Bewertungsanalyse* erläutert. Die Festsetzungen für die Szenarien im Glangebiet werden ebenfalls weiter unten beschrieben.

Exkurs: Bewertungsanalyse

Bei der Bewertungsanalyse operiert LADEMO mit Parametern. Dabei legt der Benutzer fest, welche Parameter er bei der Simulation hinsichtlich des Szenariozieles mitberücksichtigen will. Gibt er keine weiteren Parameter vor, erfolgt die Modellierung alleine aufgrund der Nachbarschaftsanalyse.

Gibt der Benutzer weitere Parameter vor, so wird er von LADEMO dazu aufgefordert, die Werte der entsprechenden Ausgangsgrids in maximal drei Klassen zu klassifizieren. In der Regel entsprechen diese Klassen einer *Bewertung* der einzelnen Werte des Parameters von gut – mittel – schlecht in Hinblick auf das Szenarioziel. Dabei erhalten die Werte, welche für die betrachtete Landnutzungsform als gut beurteilt wurden, den neuen Wert 1. Die mittleren bzw. die für die Landnutzungsform ungünstigen Werte bekommen den neuen Wert 2 bzw. 3. Diese Klassifizierung erfolgt unabhängig vom Szenariotyp (Kontraktions- bzw. Expansionsszenario), jedoch in bezug auf die betrachtete Landnutzungsform des Szenariozieles. Eine detailliertere Bewertung (Klassifizierung) ist in der aktuell gültigen Version von LADEMO nicht möglich.

Ziel der Bewertung der Parameter ist es, weitere Kriterien zu schaffen, nach denen die einzelnen Pixel umgewandelt werden. Dabei ist die Aufstellung dieser Kriterien jedoch dem Benutzer überlassen. Sie erfolgt damit ebenso wie die Auswahl der Parameter und deren Gewichtung auf der Grundlage von subjektiven Erfahrungswerten und nicht von zweifelsfrei beweisbaren Zusammenhängen. Auf den Einfluß der Bewertung auf das Modellierungsergebnis wird zusammen mit dem der Gewichtung weiter unten im Text eingegangen.

Die *Gewichtung* der einzelnen Parameter gibt dem Benutzer eine weitere Möglichkeit, sich aktiv an der Bewertungsanalyse zu beteiligen. Beispielsweise kann man bei einem Verstärkungsszenario den Entwicklungsachsen eine größere Gewichtung als dem Boden zuordnen. Die Gewichtung erfolgt in Stufen zwischen 1 und 5. Je größer der Wert, desto stärker ist der Einfluß des Parameters. Auf diese Weise kann der Benutzer die einzelnen Parameter ins Verhältnis setzen oder z.B. Prioritäten, die in Planungszielen festgesetzt wurden, berücksichtigen.

Nachdem die einzelnen Parameter eine Bewertung (Klassifizierung) und Gewichtung durch den Benutzer erfahren haben, beginnt in LADEMO die *Bewertungsanalyse*. Dabei entsteht am Ende ein neues Bewertungsgrid, das eine standardisierte Gesamtbewertung in Form von Bewertungszahlen zwischen 0 und 1 darstellt (vgl. Abbildung 6-3).

1. In einem ersten Schritt werden dabei die Klassifizierungs- und Gewichtungswerte der einzelnen Parametern zusammengeführt. Dies geschieht nach Tabelle 6-1, wobei die Grundlage der Bewertungsmatrix folgende Formel ist (Quelle: MENZEL 1999b, 4):

$$nv = (w \cdot v) - (w - 1)^2$$

Tabelle 6—1: Bewertungsmatrix in LADEMO (verändert nach: MENZEL 1999b, 4)

Gewichtung	Bewertung = 1	Bewertung = 2	Bewertung = 3
1	1	2	3
2	1	3	5
3	1	4	7
4	1	5	9
5	1	6	11

2. In einem zweiten Schritt werden die einzelnen Grids der Parameter durch Multiplikation miteinander verknüpft.
3. Die Bewertungsanalyse erfolgt immer in Hinblick auf das Szenarioziel, d.h. nicht alle Pixel kommen für eine Änderung der Landnutzung in Frage. Um auszuschließen, daß andere Pixel als die vom Benutzer ausgewählten Landnutzungsklassen eine Umwandlung erfahren, werden diese durch Multiplikation mit 0 aussortiert. Auf diese Weise wird verhindert, daß sich zum Beispiel Gewässerpixel ändern.
4. Zuletzt erfolgt eine Standardisierung der neuen Werte.

Die Abbildung 6-3 macht die einzelnen Schritte der Bewertungsanalyse anhand eines Beispiels (Abnahme der landwirtschaftlichen Nutzfläche) deutlich.

² mit nv = neuer Wert, w = Wert der Gewichtung und v = Wert der Bewertung (Klassifizierung)

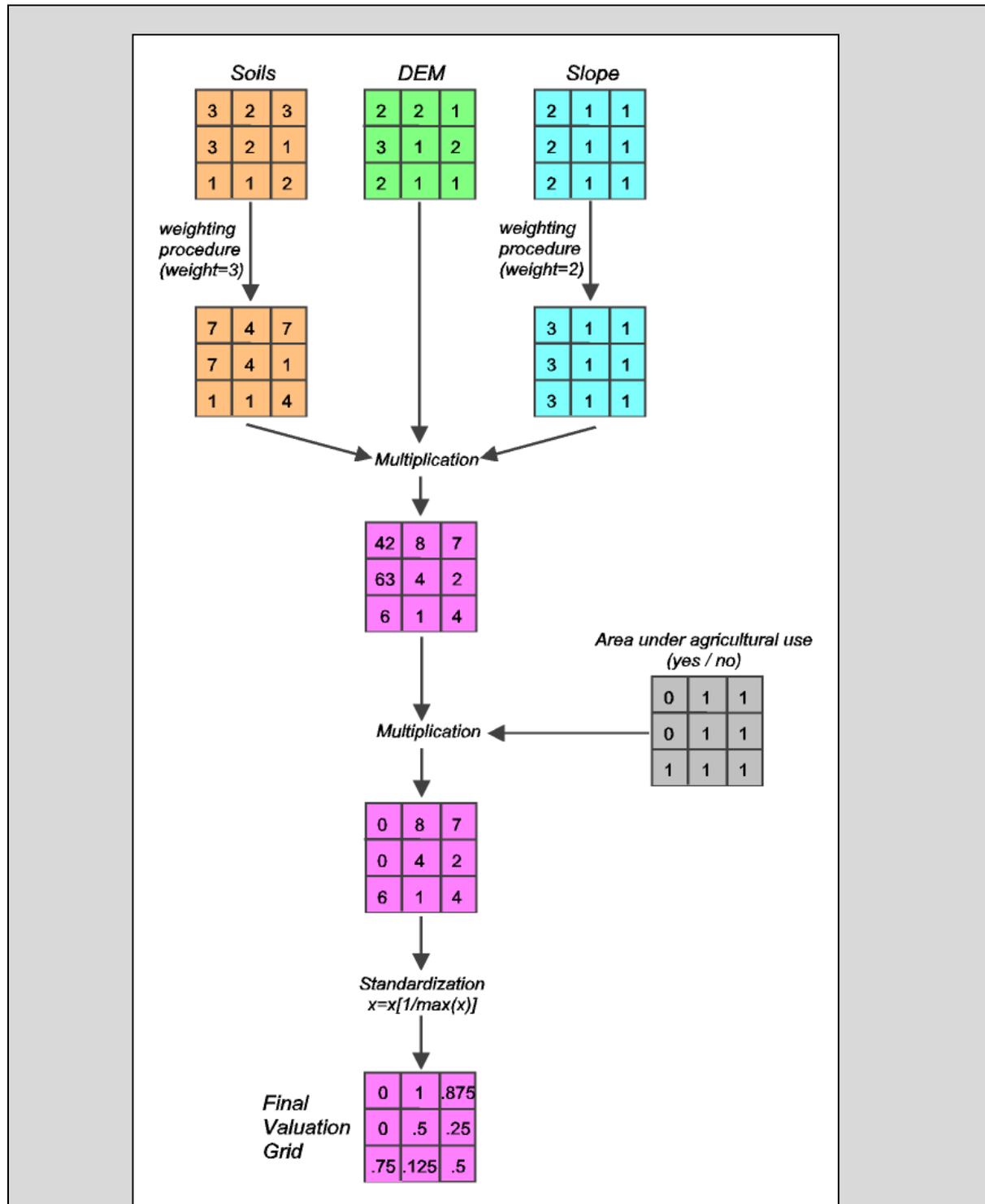


Abbildung 6-3: Beispiel einer Bewertungsanalyse (Quelle: MENZEL 1999b, 6)

Das Ergebnis der Bewertungsanalyse ist eine standardisierte Bewertungszahl, welche die Grundlage der eigentlichen Modellierung ist. Die Bewertungszahl entspricht bei einem Kontraktionsszenario der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Pixel in eine andere Landnutzungs-kategorie umgewandelt wird. Im Gegensatz dazu ist die Wahrscheinlichkeit der Wandlung eines Pixels bei einem Expansionsszenario dann besonders hoch, wenn die Bewertungszahl besonders klein ist (vgl. *Szenariotyp*).

Szenariotyp

Wichtig für den korrekten Ablauf der Modellierung ist der Unterschied zwischen Kontraktions- und Expansionszenario in LADEMO. Dabei versteht man unter einem Kontraktionszenario ein Szenario, das für die gewählte Landnutzung ein negatives Ziel (negative Prozentzahl) festlegt, d.h. von einem Rückgang dieser Landnutzungs-klasse ausgeht. Im Gegensatz dazu geht man bei einem Expansionszenario von einer Ausweitung, d.h. einer positiven Prozentzahl aus. Beide Szenariotypen können mit LADEMO simuliert werden.

6.2.3 Funktionsweise

Bei der eigentlichen Modellierung der Landnutzungs-entwicklung in LADEMO werden Nachbarschafts- und Bewertungsanalyse zusammengeführt. Ergebnis ist die Umwandlung der Pixel in Richtung des Szenariozieles. LADEMO untersucht dazu jedes Pixel des Landnutzungsgrids einmal pro Durchlauf nach der Nachbarschaft und nach der Bewertungszahl. Je nachdem, ob nach dem Durchlauf das festgesetzte Szenarioziel erreicht wurde, erfolgt ein weiterer Durchlauf oder nicht.

Bei der Modellierung verfolgt LADEMO funktional zwei ineinander verlaufende Schleifen, wobei je nach Szenariotyp Unterschiede in der Zusammenführung auftreten. Diese werden weiter unter näher erläutert.

- 1) In der ersten Schleife ermittelt LADEMO die Nachbarschaftsbeziehung der einzelnen Pixel (vgl. *Exkurs Nachbarschaftsanalyse, 123*).
- 2) In der zweiten Schleife, die in die erste Schleife eingebettet ist, untersucht LADEMO, welche Bewertungszahl das jeweilige Pixel bei der Bewertungsanalyse erhalten hat (vgl. *Exkurs Bewertungsanalyse, 124*).
- 3) Falls die Bedingungen beider Schleifen 1) und 2) erfüllt sind, richtet sich LADEMO nach der vom Benutzer festgelegten Priorität (vgl. *Prioritäten, 129*).

LADEMO wandelt nun schrittweise die Pixel in Richtung Szenarioziel um. Dabei ist zum einen die Anzahl der in Frage kommenden Nachbarn und zum anderen die Bewertungszahl entscheidend (s.o.).

Die Schleife der Nachbarschaftsanalyse ist der der Bewertungsanalyse übergeordnet, d.h. es werden zuerst nur die Pixel betrachtet, deren Anzahl an in Frage kommenden Nachbarn acht beträgt. Innerhalb dieser Pixel erfolgt die Reihenfolge der Umwandlung anhand der Bewertungszahl. Erst als letztes Kriterium wird die Priorität herangezogen, die der Benutzer festgelegt hat.

Wenn nach einem solchen ersten Durchgang alle Pixel mit acht entsprechenden Nachbarn umgewandelt sind und das Szenarioziel noch nicht erreicht ist, wird die Analyse der Pixel mit einem Nachbarn weniger fortgesetzt.

Expansionszenario

Bei beiden Szenariotypen sind Bewertungsgrids mit Werten zwischen 0 und 1 das Ergebnis der Bewertungsanalyse. Diese werden allerdings bei der Modellierung je nach Szenariotyp unterschiedlich verarbeitet: Innerhalb eines Durchgangs der Nachbarschaftszahl (z.B. $n = 5$) erfolgt die Analyse der Bewertungszahlen. Bei einem Expansionszenario startet diese bei 0 und läuft in 0.01-Schritten aufwärts bis 1 (vgl. Abbildung 6-4).

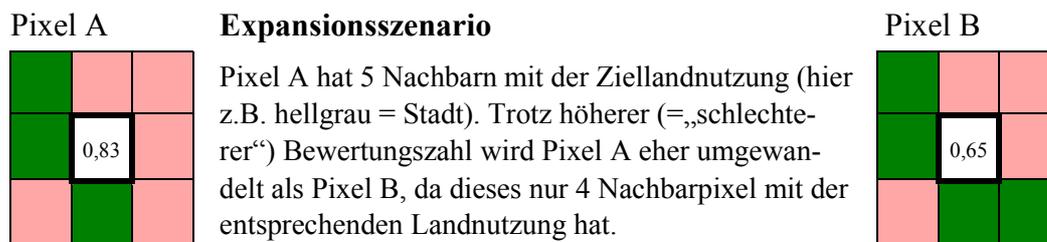


Abbildung 6-4: Umwandlung der Pixel bei einem Expansionszenario

Kontraktionsszenario

Im Gegensatz dazu startet die zweite Schleife bei einem Kontraktionsszenario bei 1 und geht in 0.01-Schritten abwärts bis 0.

Der Modellauf endet, wenn das Szenarioziel erreicht ist. Die Überprüfung erfolgt jeweils nach einem kompletten Durchlauf der einzelnen Schritte der Bewertungszahlen, d.h. wenn alle Pixel eines Grids untersucht wurden. Auf diese Weise kommt es zwar zu geringen Abweichungen vom eingegebenen Prozentsatz, allerdings ist auch gewährleistet, daß das gesamte Grid abgearbeitet wurde. Dies vermeidet eine erhöhte Umwandlungsrate in der linken oberen Ecke des Grids, in der mit der Analyse begonnen wird.

Für den Benutzer hat die unterschiedliche Zusammenführung von Bewertungszahl und Nachbarschaftsbeziehungen bestimmte Konsequenzen. Er muß bei der Klassifizierung der Parameter darauf achten, welche Klassen eine hohe bzw. eine niedrige Bewertung erhalten. Bewertungen erfolgen immer im Hinblick auf die entsprechende Landnutzung des Szenariozieles. Man kann davon ausgehen, daß gute Bewertungen niedrige Werte (=1) und schlechte Bewertungen hohe Werte (=3) erhalten (vgl. *Exkurs Bewertungsanalyse*, 124). Auf diese Weise wird gewährleistet, daß bei einem Kontraktionsszenario die schlechten Bewertungen zuerst umgewandelt werden, während bei einem Expansionszenario dies die guten Bewertungen sind.

Aber der Einfluß von Bewertung und Gewichtung am Ergebnis bleibt begrenzt. Dies liegt zum einen daran, daß die Nachbarschaftsanalyse durch deren übergeordnete Schleife schwerer wiegt. Zum anderen werden aber auch Bewertung und Gewichtung schon vor der eigentlichen Modellierung zusammen zu einer Bewertungszahl verkürzt.

Prioritäten

Außer der Klassifizierung und Gewichtung kann der Benutzer in LADEMO *Prioritäten* festlegen, welche Landnutzung sich bei einem Kontraktionsszenario bevorzugt entwickeln soll. Diese Prioritäten treten allerdings erst in Kraft, wenn die Bedingungen der ersten beiden Schleifen erfüllt sind. Das heißt, erst wenn sowohl die Anzahl der Nachbarn als auch die Bewertungszahl mit den gerade untersuchten Vorgaben übereinstimmen, entscheidet die Priorität über das Ziel der erfolgenden Umwandlung. Auf diese Weise bleibt ihr Einfluß gering.

Bei einem Expansionsszenario spielt die Priorität keine Rolle, da die einzelnen Pixel getrennt voneinander betrachtet werden und es in diesem Fall nur eine Ziellandnutzung gibt.

6.2.4 Vorgehensweise

Die praktische Umsetzung der Modellierung ist durch den Aufsatz zu ArcView relativ problemlos zu bewerkstelligen (vgl. Abbildung 6-5). Einfache *Voraussetzungen* wie das Ablegen der Ausgangsgrids und der Parameter in ein *View* (Fenster) in ArcView sind notwendig. Dabei müssen alle Grids dieselbe räumliche Ausdehnung, Auflösung und denselben Ursprung aufweisen, d.h. koinzident sein (vgl. Kap. 6.2.1).

Aggregierung

Des weiteren ist es für LADEMO erforderlich, eine *Aggregierung* der Landnutzungsklassen vorzunehmen. So sind beispielsweise die bis zu 50 Landnutzungsklassen der CORINE Landnutzungslegende zu maximal 10 Landnutzungsklassen nach den EUROTAS-Codes zu reklassifizieren, bevor eine Modellierung erfolgt.

Die Aggregierung der CORINE-Nomenklatur für LADEMO ist in Tabelle 6-2 für die im Bearbeitungsgebiet auftretenden Landnutzungsklassen dargestellt. Dabei befinden sich die dazugehörigen Landnutzungsformen aus CORINE in Klammern, soweit sie nicht schon im Titel erfaßt sind.

Tabelle 6-2: Aggregation in Lademo für das Einzugsgebiet des Glan (verändert nach: MENZEL/BLONGEWICZ 2000, 11)

CORINE-Code-Nr. (vorkommende)	Aggregierte Landnutzungsklassen	neue Code-Nr.
111,112,121,141,142	Siedlung / Urban Land (Siedlung, Industrie und Gewerbe, Städtische Grünflächen, Sport- und Freizeitanlagen)	10
122–124	Verkehrsflächen / Traffic (Straßen, Flughäfen)	20
211,221,222,242	Landwirtschaft / Agriculture (Ackerland, Weinbauflächen, Obstplantagen, Komplexe Parzellenstruktur)	30
231,243	Grünland / Grassland (Wiesen und Weiden, Landwirtschaft/Naturnahe Flächen)	40
311–313, 324	Wald / Forest (Laubwald, Nadelwald, Mischwald, Wald-Strauch-Übergangsgesellschaft)	50
321,322	Natürliches Grünland / Upland (& Heiden und Moorheiden)	60
131	Abbauflächen / Bare Surfaces	80
411	Gewässer / Open Water (& Sümpfe)	90
999	Outside Area / No Data	-9999

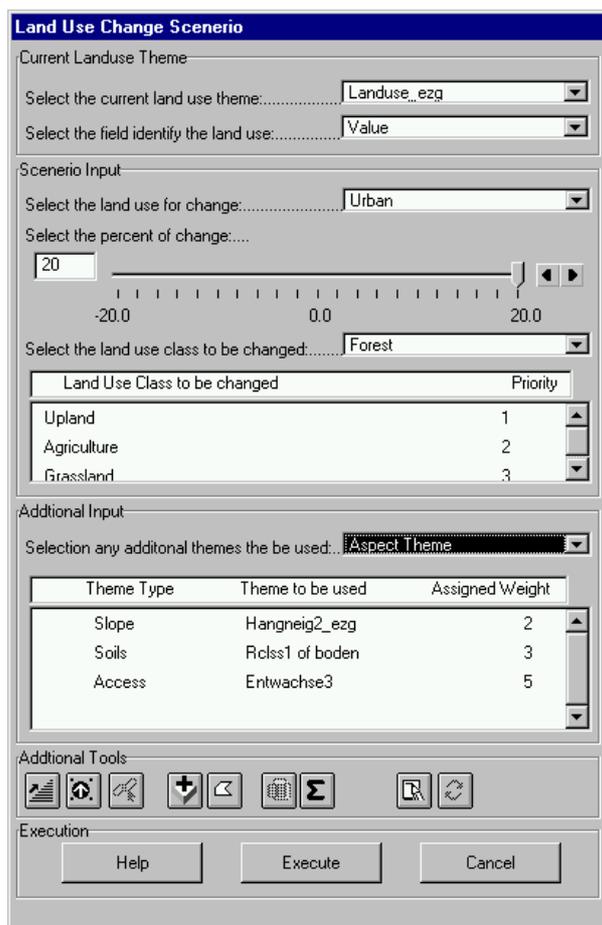
Die fett markierten Landnutzungsklassen können im Rahmen eines Szenarios verwendet werden und so einer Veränderung unterliegen. Im Gegensatz dazu bleiben die restlichen immer unverändert, da sie in der derzeitigen Version von LADEMO nicht Gegenstand eines Szenarios sein können (vgl. Kap. 6.2.6, *Grenzen*).

Vorbereitung und Ablauf

Empfehlenswert ist eine gründliche *inhaltliche Vorbereitung* der Szenarieninhalte wie des Szenariozieles, der Prioritäten, der Bewertung und der Gewichtung. Sollte eine Entwicklungsachse als Parameter eingebracht werden, so ist dieses Grid vorher zu erstellen. Nach eigenen Erfahrungen ist es außerdem ratsam, sich die Reklassifizierung der Parameter entweder als fertiges Grid oder als gespeicherte *.avc-Datei³ zurechtzulegen. Der Arbeitsaufwand im Modell selbst kann auf diese Weise so gering wie möglich gehalten werden.

Der Ablauf der Modellierung im Eingabefenster von LADEMO ist in Abbildung 6-5 dargestellt.

³ In diesem Dateiformat werden in ArcView Klassifizierungen gespeichert.



- 1) Wählen des Landnutzungsgrids, dessen Entwicklung simuliert werden soll.
- 2) Wählen der Landnutzung, die sich ändern soll (Urban, Agriculture, Forest, Deforestation).
- 3) Wählen der Prozentzahl der Änderung (Szenarioziel)
- 4) Wählen der Landnutzungen, in die sich die zu ändernde Landnutzung umwandeln soll, bzw. auf dessen Kosten die Umwandlung erfolgen soll (Urban, Agriculture, Forest, Grassland, Upland).
- 5) Festlegen der Prioritäten
- 6) Wählen der anderen Parameter
- 7) Festlegen der Gewichtung der einzelnen Parameter
- 8) Reklassifizierung (= Bewertung) der Parameter hinsichtlich des Szenariozieles
- [9) Ausschnittsauswahl]

Abbildung 6-5: LADEMO-Eingabefenster

Des Weiteren ist es mit LADEMO möglich, einzelne Ausschnitte aus einem Gesamtgrid zu modellieren. Nach erfolgreichem Abschluß der Simulation mit LADEMO erscheint daher nicht nur ein Ergebnisgrid im aktuellen View, sondern zwei zusätzliche Themen. Das *LUChange Grid* zeigt dabei den veränderten Ausschnitt an, sofern ein Ausschnitt gewählt worden ist, und das *LUMerged Grid* das gesamte Grid inklusive der Änderungen. Handelt es sich um eine Modellierung ohne Ausschnitte, sind diese zwei Grids identisch. Sie können als Eingabegrids für weitere Modellläufe verwendet werden bzw. direkt als Grundlage in TRAIN eingelesen und verarbeitet werden (vgl. Kap. 6.3).

6.2.5 Modellierung der Landnutzungsszenarien im Einzugsgebiet des Glan

Auf Grundlage der in Kapitel 5 entwickelten Szenarien geht es in diesem Kapitel um deren *Umsetzung* mit Hilfe des Modells LADEMO. Dazu werden die Szenarien für das Modell vorbereitet, indem die Bewertung der Parameter, die Festlegung der Gewichtung und die Erstellung der Entwicklungsachsen erfolgt. Die Einteilung richtet sich nach den Landnutzungsklassen, für die eine Änderung simuliert wird, da die jeweiligen Bewertungen der realistischen und der extremen Szenarien identisch sind.

Auswahl und Vorverarbeitung der Parameter

Die *Auswahl* der Parameter, die zu der Modellierung in LADEMO hinzugezogen wurden, erfolgte aufgrund der Möglichkeiten, die zum einen das Modell bietet, sie wurden aber zum anderen auch durch die vorhandene Datenbasis bestimmt (vgl. Kap. 1.2). Nicht zuletzt spielte es eine Rolle, wie der Einfluß der Parameter auf eine Änderung der Landnutzung eingeschätzt wird.

Die *Klassifizierung* selbst, die eine Bewertung der Parameter in Hinblick auf das Szenarioziel impliziert, wurde mit Werkzeugen in ArcView vorgenommen. Grundlage für die Bewertung und die Gewichtung waren sowohl eigene Überlegungen als auch in der Literatur vorgefundene Einteilungen. Hinweise hierzu werden an entsprechender Stelle gegeben.

Die Parameter *Klima* (Temperatur, Niederschlag) und *Höhe über NN* können für bestimmte Landnutzungsformen limitierende Faktoren darstellen. Im Falle des Einzugsgebietes des Glan liegen die durchschnittlichen Jahresmittelwerte zwischen 8.5 – 9.3 °C und 775 – 875 mm Niederschlag bzw. die Höhen über NN zwischen 133 und 622 m (vgl. Kap. 1.4.1). Diese mittleren Werte lassen keinerlei Einschränkungen bezüglich der vorgefundenen Landnutzungsklassen erwarten. KRAUSE (1999, 12) und SCHEFFER/ SCHACHTSCHABEL (1992, 465) gehen von optimalen Bedingungen bei 8 °C mittlerer Jahrestemperatur und 600 mm Niederschlag aus. Dabei folgert KRAUSE weiter, daß bei Niederschlägen über 900 mm verstärkt mit Wassererosion zu rechnen ist (ebd.). Aufgrund dieser Einschätzungen scheint es für keines der Szenarien im Einzugsgebiet des Glans sinnvoll, die Parameter Klima und Höhe über NN weiter zu unterteilen und zu bewerten.

Aus dem vorhandenen Digitalen Höhenmodell (GESELLSCHAFT FÜR GEOGRAPHISCHE DATENVERARBEITUNG) wurde mit ArcView-internen Werkzeugen die Hangneigung und die Exposition berechnet. Die Hangneigung wird in ArcView in Grad [°] angegeben, weshalb eine Bewertung für die Szenarien ebenfalls in Grad (und nicht in %) erfolgte.

Für die Bewertung des Bodens wurde für alle Szenarien nicht auf die aggregierten Werte für das Modell TRAIN zurückgegriffen, sondern auf die Originaldaten der *Bodenübersichtskarte* (BÜK), die das Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz zur Verfügung gestellt hat. Die digitalen Daten des Bodens liegen somit in zwei verschiedenen Ausführungen vor und weisen damit den einzigen Unterschied in den verwendeten Datensätzen der beiden Modelle LADEMO und TRAIN auf. Der Grund ist, daß die aggregierten Daten für TRAIN auf die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt ausgerichtet sind. Diese Aggregation ist jedoch nicht als aussagekräftige Einteilung bezüglich eines möglichen Einflusses auf Landnutzungsänderungen geeignet.

Ziel der Simulation der Landnutzungsszenarien ist es, Unterschiede in der Grundwasserneubildung und in der Verdunstung festzustellen. Dazu gab es Überlegungen, die Ausschnittsfunktion in LADEMO zu benutzen (vgl. Kap. 6.2.4). Die Funktionsstörung der benutzerfreundlichen Oberfläche war ein Grund, warum bei der Modellierung des Untersuchungsgebietes keine Ausschnitte verwendet wurden (siehe dazu Kap. 6.2.6, *Fazit*). Außerdem wurde aber auch die Möglichkeit verworfen, die Szenarien direkt im FORTRAN '77-Programm zu modellieren. Der Grund liegt in der besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus TRAIN, wenn alle Szenarien im selben Ausschnitt, nämlich als Gesamtgebiet, vorliegen.

Verstädterungsszenarien

Unter Verstädterung versteht man „einerseits die Zunahme des Anteils der in den Städten lebenden Wohnbevölkerung eines Landes (oder der Erde) an der Gesamtbevölkerung; andererseits die Ausbreitung als städtisch bezeichneter industrieller und kultureller Lebensformen in ursprünglich ländlichen Räumen“ (BROCKHAUS 1980). In dieser Arbeit geht es dabei um den zweiten, nämlich räumlichen Aspekt der Verstädterung, der eine Folge aus der Landflucht der Bevölkerung darstellt.

Wie sich in den letzten Jahrzehnten gezeigt hat, hat das Phänomen der Verstädterung bzw. der allgemeinen Zunahme der Wohn- und Gewerbeflächen auch im ländlichen Raum immer weiter um sich gegriffen (vgl. Kap. 4). Die Verstädterung als solche gilt als nicht sehr anspruchsvoll an ihre Umgebung. Dennoch sind Hangneigung und Böden limitierende Faktoren. So ist es in der Regel eine finanzielle Frage, wie steil ein Hang gerade noch sein darf bzw. wie naß ein Boden. Die Grenzwerte sind fließend und selten in der technischen Machbarkeit, sondern vielmehr in den finanziellen Möglichkeiten des Bauherrn begründet. Des weiteren hängt diese stark von den lokalen Gegebenheiten ab und läßt sich nicht verallgemeinern. Insgesamt war dadurch eine Einteilung für die Bewertung kaum möglich. Hinzu kommt, daß besonders im Falle der Verstädterungsszenarien nicht auf zufriedenstellende Literatur zurückgegriffen werden konnte. Dadurch beruht die vollzogene Klassifizierung für diese Arbeit auf subjektivem Urteilsvermögen der Autorin.

Laut BRONSTERT/FRITSCH/KATZENMAIER (1999, 81) sind Flächen mit einer Hangneigung über 12 %⁴ „infrastrukturell schwierig zu erschließen und von Abrutschung bedroht“, während nach SCHÄFERMEYER (mündl. 17.07.2000) die kritische Grenze bereits bei 10 %⁵ erreicht ist. Entscheidend sind dabei immer lokale Gegebenheiten, die z.B. auch von der Geologie und den Bodentypen abhängen.

Für die Klassifizierung der Hangneigung in den Verstädterungsszenarien bedeutet dies folgendes:

⁴ 12 % entsprechen 6.84 ° Hangneigung.

⁵ 10 % entsprechen 5.71 ° Hangneigung.

Tabelle 6—3: Klassifizierung der Hangneigung für die Verstärterungsszenarien

Einteilung	Eigenschaft	Neuer Wert
0 – 6 °	besonders geeignet für Bebauung	1
6.01 – 9°	mittelmäßig geeignet für Bebauung	2
9.01 – 13°	ungünstig für Bebauung	3

Die Hangneigung gilt im Einzelfall als weniger entscheidende Einflußgröße für eine Bebauung. Betrachtet man allerdings die Gesamtentwicklung eines Einzugsgebietes mit der kleinsten Einheit von 500 x 500 m, so ist es durchaus gerechtfertigt, dem Parameter *Hangneigung* bei der Gewichtung den Wert 2 zu geben, wie es bei dieser Modellierung für das Glangebiet erfolgte.

Als ähnlich problematisch zeigte sich die Klassifizierung der Böden, die auf Grundlage allgemeiner Informationen aus dem *Lehrbuch für Bodenkunde* (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1992) entwickelt wurde. So erhielten Auenböden, Gleye und Böden mit Staunässe schlechte (hohe) Bewertungen für eine Bebauung, während die restlichen Böden mit geringer Gründigkeit, aber festen Ausgangsgesteinen wie Sandsteinen, Konglomeraten, Melaphyren und Porphyriten gute Bodeneigenschaften darstellen (niedrige Bewertung). Auf die Ausweisung einer mittleren Kategorie wurde verzichtet, da die Abgrenzung zu gut bzw. zu schlecht nicht eindeutig vorgenommen werden konnte.

Tabelle 6—4: Klassifizierung der Bodentypen für die Verstärterungsszenarien

Bodentyp-Nr. laut BÜK ⁶	Eigenschaft	Neuer Wert
4, 11, 13, 16 – 19, 27 – 29, 45, 105 – 107, 109, 114, 119, 120	geeignete Bodenverhältnisse für eine Bebauung	1
76, 81, 85, 88, 89, 121, 122, 123, 125	ungünstige Bodenverhältnisse für eine Bebauung	3

Der Einfluß der Bodenverhältnisse ist als stärker zu betrachten, da der finanzielle Aufwand z.B. mit der Feuchtigkeit des Bodens stark zunimmt. Bei der Gewichtung des Parameters *Boden* wurde deshalb der Wert 3 angesetzt.

Im Gegensatz zu Hangneigung und Boden als Parameter kann ein Einfluß der Exposition bei der Verstärterung vernachlässigt werden, insbesondere wenn man es mit einer Pixelauflösung von 500 m zu tun hat. Es wurde daher verzichtet, den Parameter *Exposition* zur Modellierung hinzuzuziehen.

⁶ vgl. Abbildung 1-7

Nicht unterschätzen sollte man jedoch den Einfluß von *Entwicklungsachsen*, die sich entlang von Flußtälern und Straßen entwickeln. Vor allem diese sorgen dafür, daß sich Städte nicht kreisrund, sondern länglich bzw. sternförmig ausbreiten. Hier wird insbesondere deutlich, weshalb man bei der Simulation von Landnutzungsszenarien auf Modelle wie LADEMO zurückgreifen sollte: Der Grund liegt in der Komplexität der Kombinationsmöglichkeiten von einzelnen Parametern und einer Nachbarschaftsanalyse.

Bei der Simulation von Landnutzungsszenarien im Einzugsgebiet des Glan ist es daher ebenfalls sinnvoll, Entwicklungsachsen zu erstellen. Dazu werden Bundesautobahnen und Straßen, die als *Shapes* (in Vektorform) vorliegen (MfUF), zu einem Grid, also in Rasterform umgewandelt. Als Entwicklungsachse wurde ein Bereich definiert, der jeweils ein Pixel (= 500 m) um diese Straßen herum umfaßt. Im folgenden wird dieser Bereich als Straßenpuffer bezeichnet. Das neu erzeugte Grid wird mit dem Einzugsgebiet verschnitten, so daß sowohl die räumliche Ausdehnung als auch die Auflösung mit den übrigen Grids übereinstimmen.

Des weiteren wurden bzw. werden im Einzugsgebiet des Glan per Gesetz Überschwemmungsgebiete für die Flußabschnitte Glan, Lauter und Odenbach festgesetzt⁷. Für die Szenarien bedeutet dies, daß eine Bebauung in diesen Bereichen ausgeschlossen werden kann. Um dies auch zu gewährleisten, wurden die vorhandenen Shapes ebenfalls in Grids umgewandelt und mit der Entwicklungsachse der Straßen zusammengefaßt.

Die Klassifizierung dieses Ausgangsgrids erfolgte nun in die drei Bereiche:

Tabelle 6—5: Klassifizierung der Entwicklungsachsen für die Verstärterungsszenarien

Entwicklungsachsen	Eigenschaft	Neuer Wert
Straßenpuffer	eigentliche Entwicklungsachse mit bevorzugter Bebauung	1
restliches Einzugsgebiet	Bebauung möglich, aber nicht bevorzugt	2
Überschwemmungsgebiete	keine Bebauung erwünscht	3

Da auch bei hoher Bewertungszahl im Überschwemmungsgebiet eine Bebauung im Modell nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann, mußte eine anschließende Überprüfung erfolgen.

Dem großen Einfluß des Parameters *Entwicklungsachse* entsprechend wurde die Gewichtung mit dem höchsten Wert 5 belegt.

⁷ Für die Überschwemmungsgebiete Odenbach ist das Festsetzungsverfahren noch nicht abgeschlossen.

Ackerszenarien

Die Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzflächen der letzten Jahrzehnte zeigte eine deutliche Tendenz zur Extensivierung und zur Flächenstilllegung. Die Gründe hierfür sind im Kapitel 4 beschrieben.

Verfolgt man diese Tendenz nun in Form von Ackerszenarien weiter, so muß man Überlegungen nach Kriterien anstellen. Im allgemeinen wird in dieser Modellierung davon ausgegangen, daß ein Landwirt eher die für Ackerbau ungünstigen Böden und Lagen (z.B. am Hang) aufgeben wird, während fruchtbare oder ebene Standorte statt einer Stilllegung eher weiter verpachtet werden und so in der landwirtschaftlichen Nutzung verbleiben.

Laut FRIELINGHAUS (1997, 1.3) findet eine Beeinflussung der ackerbaulichen Flächen durch Erosion ab etwa 4 % Hangneigung⁸ statt. Des weiteren weist MARKS (1992, 145) ackerbaulich genutzten Flächen mit einer Hangneigung von 0 – 2 ° ein „sehr hohes“ und Flächen zwischen 2 – 7 ° ein „hohes biotisches Ertragspotential“ zu. Ab 7 ° stellt er dieses als gering dar; Hangneigungen über 15 ° hält er für die Landwirtschaft ungeeignet (ebd.). Im Einzugsgebiet des Glan mit einer maximalen Hangneigung von 12 ° kann man diese Einschätzungen von FRIELINGHAUS (1997, 1.3) und MARKS (1992, 145) für die Klassifizierung gut umsetzen:

Tabelle 6—6: Klassifizierung der Hangneigung für die Ackerszenarien

Einteilung	Eigenschaft	Neuer Wert
0 – 2 °	sehr gute Eignung für Ackerbau	1
2.01 – 7 °	mittlere Eignung für Ackerbau	2
7.01 – 15 °	ungünstige Verhältnisse für Ackerbau	3

Die Hangneigung wird als relativ wichtiges Kriterium für die Nutzung oder Aufgabe von ackerbaulichen Standorten interpretiert. Daher wird der Parameter *Hangneigung* für die Ackerszenarien mit der Gewichtung 3 belegt.

Schwieriger wird die Bewertung des Bodens bezüglich der Eignung für die Landwirtschaft. Hier spielen vor allem die Bodenart und die Gründigkeit eine entscheidende Rolle (RUNGE mündl. 31.05.2000). Die verschiedenen Bearbeitungsmöglichkeiten und die unterschiedlichen kleinräumigen Verhältnisse lassen dem Landwirt einen relativ großen Spielraum, so daß die Einteilung insbesondere bei einer Auflösung von 500-m-Pixeln schwer fällt.

Dafür wurden zunächst die Bodentypen der BÜK (LfW) nach Bodenarten und nach der Gründigkeit eingeteilt. Hierfür standen Hinweise von MARKS (1992, 145) und SCHEFFER /

⁸ 4 % entsprechen 2.29 ° Hangneigung.

SCHACHTSCHABEL (1992, 23) zur Verfügung. Anschließend wurde eine Klassifizierung vorgenommen, in der versucht wird, die Kriterien Bodenart, Gründigkeit und Staunässe zu vereinen:

Tabelle 6—7: Klassifizierung der Bodentypen für die Ackerszenarien

Bodentyp-Nr. laut BÜK⁹	Eigenschaft	Neuer Wert
27 – 29, 106, 109, 114, 119, 120, 123	gute ackerbauliche Verhältnisse	1
11, 13, 16 – 19, 45, 76, 88, 89, 105, 107	mittlere ackerbauliche Verhältnisse	2
4, 81, 85, 121, 122, 125	ungünstige ackerbauliche Verhältnisse	3

Entsprechend der Bedeutung des Parameters *Boden* wird ihm bei der Gewichtung der Wert 4 zugewiesen. Dabei wurde darauf verzichtet, die höchste Gewichtung (5) zu geben, um zum einen eine Steigerungsmöglichkeit zu haben und zum anderen den Unterschied zur Gewichtung der Hangneigung nicht allzu groß werden zu lassen.

Die gesetzlich festgelegten Überschwemmungsgebiete im Einzugsgebiet des Glan sorgen außer einer Beschränkung der Bautätigkeit in diesen Bereichen auch für eine Förderung der Umwandlung von Acker- in Grünlandflächen. Dieser ökonomisch induzierte Prozeß kann in LADEMO in Form einer Entwicklungsachse mit einer hohen Gewichtung (5) in die Modellierung eingebracht werden.

Dazu wurden ähnlich wie bei den Verstädterungsszenarien die Shapedateien der Überschwemmungsgebiete in Pixelform umgewandelt, um sie mit dem Einzugsgebiet zu verschneiden. Das so erhaltene Ausgangsgrid war die Grundlage für eine Klassifizierung des Parameters *Entwicklungsachse*:

Tabelle 6—8: Klassifizierung der Entwicklungsachsen für die Ackerszenarien

Entwicklungsachsen	Eigenschaft	Neuer Wert
restliches Einzugsgebiet	Ackerbau und Bebauung möglich	1
gesetzlich festgelegte Überschwemmungsgebiete	Umwandlung von Acker- zu Grünland, jedoch keine Bebauung erwünscht	3

Eine geringe Rolle dürfte außerdem auch die Exposition spielen, wenn auch der Einfluß auf Sonderkulturen wie Wein oder Obst weitaus größer ist. Nach der Einteilung der AG BODEN (1994, 59) in *Sonn-* und *Schattseite* eines Hanges erfolgte die Klassifizierung des Parameters *Exposition*:

⁹ vgl. Abbildung 1-7

Tabelle 6—9: Klassifizierung der Exposition für die Ackerszenarien

Einteilung	Eigenschaft	Neuer Wert
112.51 – 292.5°	Sonnseite: gut geeignet für Ackerbau	1
0 – 112.5° und 292.51 – 360°	Schattseite: weniger günstig für Ackerbau	3

Im Einzugsgebiet des Glan kommt es durch für Ackerbau relativ magere Bodenverhältnisse nicht zu großflächigem Anbau von Wein- oder Sonderkulturen (vgl. Kap. 1.4). Dem relativ geringen Einfluß der Exposition wird daher mit einer Gewichtung von 1 begegnet. Darüber hinaus liegt eine weitere Begründung in der eingeschränkten Aussagekraft aufgrund der relativ groben 500-m-Auflösung.

Bei der Überprüfung des realitätsnahen Ackerszenarien wurde festgestellt, daß das Modell LADEMO einige Ackerpixel im Überschwemmungsgebiet zu Stadtpixel umgewandelt hatte. Da es im Vorfeld keine modell-interne Möglichkeit gibt, einzelne Landnutzungsklassen im Parameter Entwicklungssachse auszuschließen, war eine Nachbearbeitung des Ergebnisses erforderlich. Dazu wurden die entsprechenden Pixel in der exportierten ASCII-Datei zu Grünland verändert.

Bei der Durchführung der extremen Variante des Ackerszenarien mußte eine Hürde des Modells LADEMO umgangen werden. So kann man in der aktuellen Version maximal eine Änderung von 20 % simulieren. Um das Szenarioziel von – 40 % zu erreichen, mußten daher mehrere Modellläufe gestartet werden. Dabei sollte ferner die Fehlerquote im Überschwemmungsgebiet möglichst gering gehalten werden. Aus diesem Grund wurde das bereits bereinigte Landnutzungsgrid aus dem realistischen Szenario (s.o.) als Grundlage für zwei weitere Modellierungen verwendet.

Waldszenario

Über 90 % der *heutigen potentiell natürlichen Vegetation* in Deutschland sind Waldökosysteme (vgl. NENTWIG 1995, 517). In tieferen und mittleren Höhen (montaner Bereich) wäre dies in der Regel Mischwald, während es sich in alpinen Höhen unterhalb der Waldgrenze um Nadelwald handeln würde (ELLENBERG 1996, 111). Das Einzugsgebiet des Glan liegt im Bereich eines Mittelgebirges unterhalb der Laubwaldgrenze, so daß sich hier natürlicherweise Mischwälder einstellen würden (vgl. Kap. 1).

Die Standortbedingungen im Einzugsgebiet des Glan sind demnach im allgemeinen für die Landnutzung *Wald* erfüllt. Im konkreten Fall ist jedoch zu prüfen, ob lokal verschiedene limitierende Faktoren vorhanden sind. Eine solche Einschränkung kann beispielsweise nach MARKS (1992, 145) eine Hangneigung über 35 ° mit sich bringen. Im Glangebiet

kann man davon ausgehen, daß weder die Hangneigung (max. 12 °) noch die Exposition im 500-m-Raster eine Rolle für die Entwicklung des Waldes spielen. Des weiteren macht es auch wenig Sinn, eine Entwicklungsachse festzulegen, da Kriterien hierfür fehlen.

Einziger limitierender Faktor für den Wald kann im Einzugsgebiet des Glans der Boden sein. Dabei ordnet z.B. MARKS (ebd.) Torf nur ein mittleres „biotisches Ertragspotential“ für Wald zu. Entscheidender als die Bodenart ist für MARKS (ebd.) jedoch die Gründigkeit des Bodens. So weist er Böden mit einer Gründigkeit von unter 60 cm nur ein mittleres, unter 30 cm nur ein geringes „biotisches Ertragspotential“ in bezug auf die Nutzungsart Wald zu.

In Anlehnung an diese Einteilung von MARKS (ebd.) erfolgte die Bewertung der Böden im Einzugsgebiet des Glan. Dabei kam es zu folgender Klassifizierung:

Tabelle 6—10: Klassifizierung der Bodentypen für das Waldszenario

Bodentyp-Nr. laut BÜK¹⁰	Eigenschaft	Neuer Wert
4, 11, 13, 27 – 29, 105 – 107, 109, 114, 119, 120	günstige Bedingungen für Wald	1
16 – 19, 45, 76, 81, 85, 88, 89, 122, 123	mittlere Bedingungen für Wald	2
121, 125	ungünstige Bedingungen für Wald	3

Als einzigen Parameter *Boden* wird ihm eine Gewichtung von 3 zugewiesen.

6.2.6 Bewertung und Fazit

Teil dieser Arbeit ist zum einen die Analyse des Modells LADEMO als ein Modell zur Simulation von Landnutzungsszenarien, zum anderen aber vielmehr die Untersuchung des Einflusses von Landnutzungsänderungen auf Grundwasserneubildung und Verdunstung. LADEMO stellt hier die Grundlage, auf der weitere Modellierungen im Verdunstungsmodell TRAIN erfolgen (vgl. Kap. 6.3). Um die Ergebnisse interpretieren zu können, ist es notwendig, das schwächste Glied der Kette festzustellen. Dies geschieht am einfachsten für jede einzelne Sequenz, muß anschließend aber auch im Zusammenhang betrachtet werden.

Grenzen

Da jedes Modell nur als Abbild der Wirklichkeit fungiert, kann das Ergebnis einer Modellierung auch niemals besser oder detaillierter sein als es das Modell zuläßt (vgl. Kap. 6.1). So sind beispielsweise dort Grenzen gesetzt, wo die ins Modell eingehenden Daten ungenau sind bzw. Misch- oder Sammelklassen enthalten. Bei dem Modell LADEMO ist dies durch die notwendige *Aggregation* nach dem EUROTAS-Schema vorgegeben (vgl. Kap. 6.2.4, *Aggregation*). So werden z.B. Nadel-, Misch- und Laubwald zu einer Waldklasse reklassifiziert, ebenso wie es nur eine Sammelklasse *Ackerland* gibt.

¹⁰ vgl. Abbildung 1-7

Problematisch wird es dann, wenn das Ergebnis der Modellierung als Grundlage für weitere Modellierungen zur Verfügung stehen soll. So sind die Landnutzungsgrids der einzelnen Szenarien die Grundlage für die anschließende Simulation von Grundwasserneubildung und Verdunstung mit dem Verdunstungsmodell TRAIN (vgl. Kap. 6.3). Hier ist man gezwungen, die vereinfachte Klassifizierung zu übernehmen und so Einbußen in der Genauigkeit der Ergebnisse hinzunehmen. Die Möglichkeit der nachträglichen Aufspaltung der Klassen birgt weitere Unsicherheiten, so daß im Rahmen dieser Arbeit die EUROTAS-Klassifizierung zufriedenstellend war.

Der Abstraktionsgrad in LADEMO setzt sich bei *Auswahlmöglichkeiten* im Modellablauf weiter fort. So kann man unter den sich zu ändernden Landnutzungen nur unter *Ackerland*, *Stadt* und *Wald* auswählen (*Quellandnutzungen*). Es ist zwar möglich, ein sog. Waldbrand-szenario auszuwählen, bei dem sich Wald über Brachland wieder zu Wald entwickelt. Dies ist im Einzugsgebiet des Glan jedoch wenig sinnvoll, da eine großräumige Waldbrand-gefahr unter den gegebenen Klimabedingungen nicht sehr wahrscheinlich ist. In LADEMO können allerdings keine anderen Landnutzungsklassen als diese zur Veränderung ausgewählt werden. So ist zum Beispiel ein Grünland- oder Brachlandszenario nur über den Umweg der Re-Aggregation möglich.

Ähnlich begrenzt ist die *Auswahl der Landnutzungsklassen*, in die sich die zu ändernde Landnutzungsform umwandeln soll bzw. auf deren Kosten die Umwandlung erfolgen soll (*Ziellandnutzungen*). Hier stehen die fünf Klassen *Ackerland*, *Stadt*, *Wald*, *Grünland* und *natürliches Grünland* zur Verfügung, wobei in LADEMO *maximal drei* davon gewählt werden können. Dabei kann pro Modellauf eine Veränderung um *maximal 20 %* vollzogen werden. Möchte der Benutzer eine stärkere Landnutzungsentwicklung simulieren, so muß er auf eine mehrstufige Modelldurchführung zurückgreifen (vgl. Kap. 6.2.5, *Ackerszenarien*).

Wichtig ist, daß bei einem Expansionsszenario (also bei positiver Prozentzahl des Szenariozieles) eine Entwicklung nur auf Kosten anderer Landnutzungsklassen erfolgen kann. Es ist nicht möglich, daß sich gleichzeitig zu der sich ausweitenden Landnutzungsform noch andere ausbreiten, auch wenn sich wiederum andere Landnutzungsklassen zurückbilden. Im Gegenzug ist es bei einem Kontraktionsszenario nicht modellierbar, daß zusätzlich zu der sich umwandelnden Landnutzungs-klasse eine andere ebenfalls zurückgeht.

Ähnlich zu den beschränkten Auswahlmöglichkeiten der Landnutzungsklassen kann der Benutzer in LADEMO *maximal fünf Parameter* neben der Nachbarschaftsanalyse einbeziehen. Vorgeschlagen werden durch das Modell die Parameter *Boden*, *Höhe über NN*, *Hangneigung*, *Exposition* und *Entwicklungssachse*. Der Anwender kann andere Größen wie z.B. Klimaparameter nur einbringen, wenn er das entsprechende Grid anstelle eines dieser fünf

in den Modellprozeß einliest. In der Regel kann jedoch bei diesem Abstraktionsgrad davon ausgegangen werden, daß hinreichend viele Möglichkeiten zur Variation bestehen.

Problematischer könnte dagegen die begrenzte Möglichkeit zur *Bewertung bzw. Klassifizierung der Parameter* sein. Es ist durchaus vorstellbar, daß es auch bei einer relativ groben Aussage des Modells sinnvoll ist, eine detailliertere Bewertung als gut – mittel – schlecht vorzunehmen. Dies könnte z.B. dann der Fall sein, wenn sich der Benutzer davon einen Informationsgewinn in Hinblick auf das Ergebnis verspricht. Die Weiterentwicklung des Modells LADEMO in diese Richtung ist für eine zukünftige Version bereits geplant.

Des weiteren erfolgt die Bewertung immer nur in Hinblick auf das *Szenarioziel*. Demnach ist es bei einem Kontraktionsszenario nicht möglich, die Landnutzungsklassen zu bewerten, in die sich die zurückgehende Landnutzungsform umwandeln soll (*Ziellandnutzungen*). Beispielsweise ist bei einem Ackerszenario¹¹ eine „ungünstige“ Hangneigung bezüglich Acker eine andere als für die Ziellandnutzungen Grünland *oder* Wald. Die Festlegung von Prioritäten beim Modellablauf sollte dem Abstraktionsgrad von LADEMO allerdings genügen.

Die Grundidee von LADEMO ist die *Nachbarschaftsanalyse*. So erklärt sich, daß einzeln stehende Pixel ohne entsprechende Nachbarschaftsbeziehungen selbst bei hoher Bewertungszahl nicht umgewandelt werden. Dies liegt zwar in der Natur der Sache, sollte aber dennoch erwähnt und berücksichtigt werden.

Möglichkeiten

LADEMO ist ein Modell, das unter Berücksichtigung der genannten Einschränkungen gut geeignet ist, eine allgemeine, räumliche Entwicklung der Landnutzung zu simulieren. Dabei ist das Ziel nicht, die Entwicklung aufgrund von sozio-ökonomischen oder detaillierten Nachforschungen zu ermitteln, sondern vielmehr, einen groben *Überblick* zu erhalten. Dies kann Entscheidungsträgern eine Einschätzungshilfe sein, wenn es sich um grundlegende Beschlüsse handelt. Für konkretere Maßnahmen ist es unumgänglich, weitere Indikatoren und gegebenenfalls ein detaillierteres Modell hinzuzuziehen (vgl. Kap. 8).

Insgesamt sind Weiterentwicklungen des Modells LADEMO möglich und an verschiedenen Stellen geplant.

In der folgenden Tabelle 6—11 werden Vor- und Nachteile des Modells LADEMO bezogen auf die Modellierung im Einzugsgebiet des Glan herausgestellt. Dabei geschieht diese Zusammenstellung bereits im Hinblick auf die weitere Simulation der Grundwasserneubildung und der Verdunstung der Landnutzungsszenarien mit dem Modell TRAIN.

¹¹ Szenarioziel: Negative Prozentzahl für die Landnutzungsklasse *Ackerland*.

Tabelle 6—11: Vor- und Nachteile der Verwendung von LADEMO bei der Modellierung im Einzugsgebiet des Glans

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - LADEMO besitzt ein zu TRAIN konsistentes Datenformat - Landnutzungsgrid für TRAIN ist bereits auf Basis der CORINE-Daten vorhanden. - Räumliche Verteilung der Landnutzungsentwicklung stellt eine bessere Grundlage für die Modellierung in TRAIN bzw. für die Auswertung durch Planer oder Entscheidungsträger dar. - Schnittstelle zu ArcView einfach zu bedienen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Notwendiger Abstraktionsgrad in LADEMO sorgt für Verlust an Information für TRAIN (siehe Aggregation).

Die räumlich simulierte Verteilung der Landnutzungsentwicklungen hat den Vorteil, daß sich Grundwasserneubildung und Verdunstung ebenfalls räumlich verteilt ändern. Auf diese Weise wird das Ziel der Einschätzungshilfe für Entscheidungsträger eher erreicht als bei herkömmlichen Modellen, die eine räumliche Verteilung der Landnutzung meist vernachlässigen (vgl. MENZEL/FRITSCH/KATZENMAIER 1999 u. Kap. 8).

Fazit

Insgesamt kann man davon ausgehen, daß die Festlegungen, die der Benutzer eigenständig tätigt, in LADEMO zwar berücksichtigt werden; das Hauptaugenmerk der Modellstruktur liegt dennoch auf der Nachbarschaftsanalyse. Dies führt zu einer Relativierung des subjektiven und nicht beweisbaren Anteils der Simulation, der in Form von Bewertung, Gewichtung und Prioritätensetzung vorhanden ist.

In der folgenden Tabelle 6—12 soll ein Überblick über die Möglichkeiten und Entwicklungspotentiale von LADEMO gegeben werden. Dabei erfolgte die Zusammenstellung als Folgerung aus den vorangegangenen Kapiteln und der Arbeit mit dem Modell. Zu beachten ist der Bearbeitungsstand des Modells von Juli 2000. Ein Anspruch auf Vollständigkeit besteht nicht.

Tabelle 6—12: Möglichkeiten und Entwicklungspotentiale für LADEMO

Möglichkeiten	Entwicklungspotentiale
<ul style="list-style-type: none"> - Überblick über die räumliche Verteilung einer Landnutzungsentwicklung ohne weitreichende Datenbasis möglich. - Interaktiv: aktuelle Erkenntnisse und gebietsspezifische Besonderheiten können gut integriert werden. - Als Grundlage für rasterbasierte Modelle weiter verwendbar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Parametererkennung, Klassifizierung und Fehlermeldungen der benutzerfreundlichen Schnittstelle sind verbesserungswürdig. - Verfeinerung der Aggregation ist anzustreben. - Erweiterung der Auswahlmöglichkeiten der Landnutzungsklassen, deren Anzahl sowie der Parameter (vgl. Kap. 6.2.6, <i>Grenzen</i>). - Verfeinerung der Eingabemöglichkeiten für das Szenarioziel (vgl. Kap. 6.2.6, <i>Grenzen</i>). - Ausbau der Bewertungsmöglichkeiten (vgl. Kap. 6.2.6, <i>Grenzen</i>).

Während der Verwendung stellte sich außerdem heraus, daß die benutzerfreundliche Schnittstelle in ArcView noch Mängel bei der Ausschnittsfunktion aufwies. So ließen sich die statistischen Werte nur für das Gesamtgrid und nicht für den Ausschnitt anzeigen. Insbesondere war aber die Berechnung der Szenarioziele für die Ausschnitte nicht korrekt. Dies äußerte sich darin, daß die Anzahl der veränderten Pixel gegenüber der Anzahl des Szenariozieles eine erhebliche Abweichung aufwies. Die Korrektur wird bereits angestrebt.

6.3 Modellierung von Grundwasserneubildung und Verdunstung mit TRAIN

Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluß der Landnutzungsänderungen auf den Wasserhaushalt zu beschreiben. Dazu werden die modellierten Landnutzungsszenarien in das Verdunstungsmodell TRAIN eingelesen, um unter den jeweiligen Bedingungen die flächendifferenzierte Grundwasserneubildung und Verdunstung zu berechnen.

Im folgenden soll ein Überblick über die wesentlichen Grundzüge des Modells TRAIN gegeben werden. Dabei wird der Schwerpunkt auf die methodische Vorgehensweise innerhalb des Modells gelegt. Nach einem kurzen historischen Abriss des Modells TRAIN erfolgt dazu zunächst die nähere Beschreibung der Eingangsdaten und deren notwendige Aufbereitung. Anschließend werden außerdem die Funktionsweise, die Modellkomponenten und die zugrunde gelegte Parametrisierung der Landnutzungen erläutert, um die durchgeführte Modellierung verständlich zu machen und die Grundlagen für die Auswertung und Interpretation zu schaffen. Die Verifizierung stellt einen notwendigen Arbeitsschritt einer Modellierung dar, um die Ergebnisse einordnen zu können, bevor ein Ausblick auf die Interpretationsmöglichkeiten und die Grenzen des Modells erfolgt.

6.3.1 Was ist TRAIN?

TRAIN bedeutet *TRAnspirations- und INterzeptionsverdunstungsmodell*, wobei die Modellierung dieser beiden Komponenten des Wasserhaushaltes die Schwerpunkte im ursprünglichen Modellansatz darstellt. Inzwischen erfolgte eine Erweiterung des Ansatzes auf die Tiefenversickerung. Die Konzeption von TRAIN zielt demnach auf die Erfassung und die flächenhafte Modellierung von Grundwasserneubildung und Verdunstung ab, also auf die Simulation der vertikalen Wasserströme.

Der Begriff *Verdunstung* wird im Modell TRAIN im Sinne von *aktueller Evapotranspiration* gebraucht. Im Gegensatz zu vielen anderen Untersuchungen beschreibt TRAIN „das gesamte Kontinuum aus Boden, Vegetation und Atmosphäre und dessen Einfluß auf die Verdunstung“ (MENZEL 1999a, 11). Sie besteht aus den Komponenten Evaporation, Interzeption und Transpiration. Ferner wird die Bedeckung der Landoberfläche mit Schnee im Rahmen eines Schneemoduls berücksichtigt.

Für die *Tiefenversickerung* wird angenommen, daß der Niederschlag, der weder verdunstet noch ober- und unterirdisch abfließt, nach Sättigung des Bodens und Passieren der durchwurzelten Bodenzone zur Tiefenversickerung beiträgt. Tiefenversickerung wird damit im Rahmen dieser Arbeit mit dem Begriff der Grundwasserneubildung gleichgesetzt, auch wenn klar sein muß, daß es sich hierbei nur um die potentielle Grundwasserneubildung handelt. Über Zwischenabflüsse kann es je nach Grundwasserstand zu mehr oder weniger realer Grundwasserneubildung kommen. Deren Modellierung benötigt allerdings ein detaillierteres bzw. spezialisierteres Grundwassermodell.

Bisher werden Gebietswerte der Verdunstung meist indirekt über die Wasserhaushaltsgleichung als Restgröße ermittelt. Da diese Methode mit den Fehlern aus der Niederschlagsmessung und –regionalisierung behaftet ist, werden Punktmessungen z.B. an Lysimetern hinzugezogen. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Anwendung von schwer regionalisierbaren empirischen Formeln zur indirekten Verdunstungsbestimmung aus klimatologischen Daten. Dabei werden jedoch keine spezifischen Einflüsse der Landoberfläche und der Vegetation berücksichtigt. Zudem können auf diese Weise nur wenig flächendetaillierte und zeitlich gering aufgelöste Ergebnisse erzielt werden. Erst die Kombination zum einen aus Ableitungen aus dem Energiehaushalt oder dem Wasserdampftransport und zum anderen aus Messungen zum Bodenwasserhaushalt und zur Phänologie ermöglichen die Entwicklung umfassender Modelle wie TRAIN. So erfolgten dafür umfangreiche Feldstudien, die schließlich zu verbesserten Versionen von TRAIN führten. Im Rahmen der Verdunstungskarte für die gesamte Schweiz ist neben der Berücksichtigung von alpinen Bereichen auch die Regionalisierung gekommen. Inzwischen kann durch die Weiterentwicklung und Verbesserung einzelner Prozeßbeschreibungen ferner die Bestimmung der Grundwasserneubildung mit TRAIN erfolgen. Am PIK liegt ein Schwerpunkt zudem in der weiteren

Parametrisierung der Landnutzung, z.B. für die Anwendung des Modells im Rahmen von Klima- und Landnutzungsszenarien.

TRAIN ist ein rasterbasiertes, physikalisches Modell, das für jedes Pixel in Stunden- oder Tagesschrittweite über einen beliebigen Zeitraum die Grundwasserneubildung und Verdunstung berechnet. Im Falle des Einzugsgebiet des Glan ist dies bei einer 500-m-Auflösung der Zeitraum von 30 Jahren zwischen 1961 und 1990. Dabei wird in der derzeitigen Version von TRAIN noch keine Interaktion zwischen den einzelnen Pixeln auf horizontaler Ebene, z.B. in Form von lateralen Zwischenabflüssen, umgesetzt. Bei einer Pixelgröße von 500 x 500 m wird statt dessen angenommen, daß diese in der Abflußspende des Gebietes auftauchen. Ferner ist zu beachten, daß TRAIN prinzipiell nicht als Wasserhaushaltsmodell konzipiert wurde. Dies führt dazu, daß nicht sämtliche Komponenten des Wasserhaushaltes bilanziert werden, wie dies in Wasserhaushaltsmodellen der Fall ist. Eine Weiterentwicklung von TRAIN in Richtung flächendifferenzierter Simulation der Abflußkomponenten ist geplant.

6.3.2 Eingangsdaten

Zur Modellierung der Evapotranspiration und der Grundwasserneubildung benötigt das Modell TRAIN verschiedene Eingangsdaten. Für diese Arbeit kann auf bereits vorverarbeitete Daten zurückgegriffen werden, die im Rahmen des Projektes „Verdunstungskarte Rheinland-Pfalz“ entstanden sind. Da diese Daten zum einen aktuell und zum anderen ebenfalls für eine Verdunstungsmodellierung mit dem Modell TRAIN in Rheinland-Pfalz zusammengestellt wurden, kann von deren Anwendbarkeit für das Einzugsgebiet des Glan ausgegangen werden.

Aus der folgenden Abbildung 6-6 gehen neben dem schematisierten Modellablauf und den einzelnen Teilmodellen außerdem die in das Modell TRAIN eingehenden Parameter hervor.

Klimadaten

Der erste Eingangsdatensatz besteht aus den räumlich interpolierten Klimadaten (vgl. Abbildung 6-6). Dabei wurden tägliche Werte von Niederschlag, Sonnenscheindauer, Lufttemperatur, relativer Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit mittels eines Verfahrens nach SCHULLA interpoliert. Das Verfahren wurde 1997 entwickelt und stellt eine Kombination aus höhenabhängiger Regression und inverser Abstandsgewichtung dar (vgl. SCHULLA 1999, 3). Rheinland-Pfalz wird dabei in fünf Regionen unterteilt, für die unterschiedliche Höhenabhängigkeiten für die meteorologischen Größen erwartet werden. Dabei wurden die Interpolationsergebnisse der einzelnen Region entfernungsabhängig gewichtet und überlagert. Das Einzugsgebiet des Glan befindet sich in zwei der fünf Zonen in Rheinland-Pfalz. Die Erstellung eines Zonengrids dient bei der Modellierung dazu, die Lage des aktuell bearbeiteten Pixels innerhalb einer Zone sowie in einer Höhenstufe festzustellen. Damit können die entsprechenden Interpolationswerte aus den Klimadateien zugeordnet werden.

Für die Interpolation der Klimadaten standen im Rahmen des Projektes „Verdunstungskarte Rheinland-Pfalz“ 93 Stationen zur Verfügung.

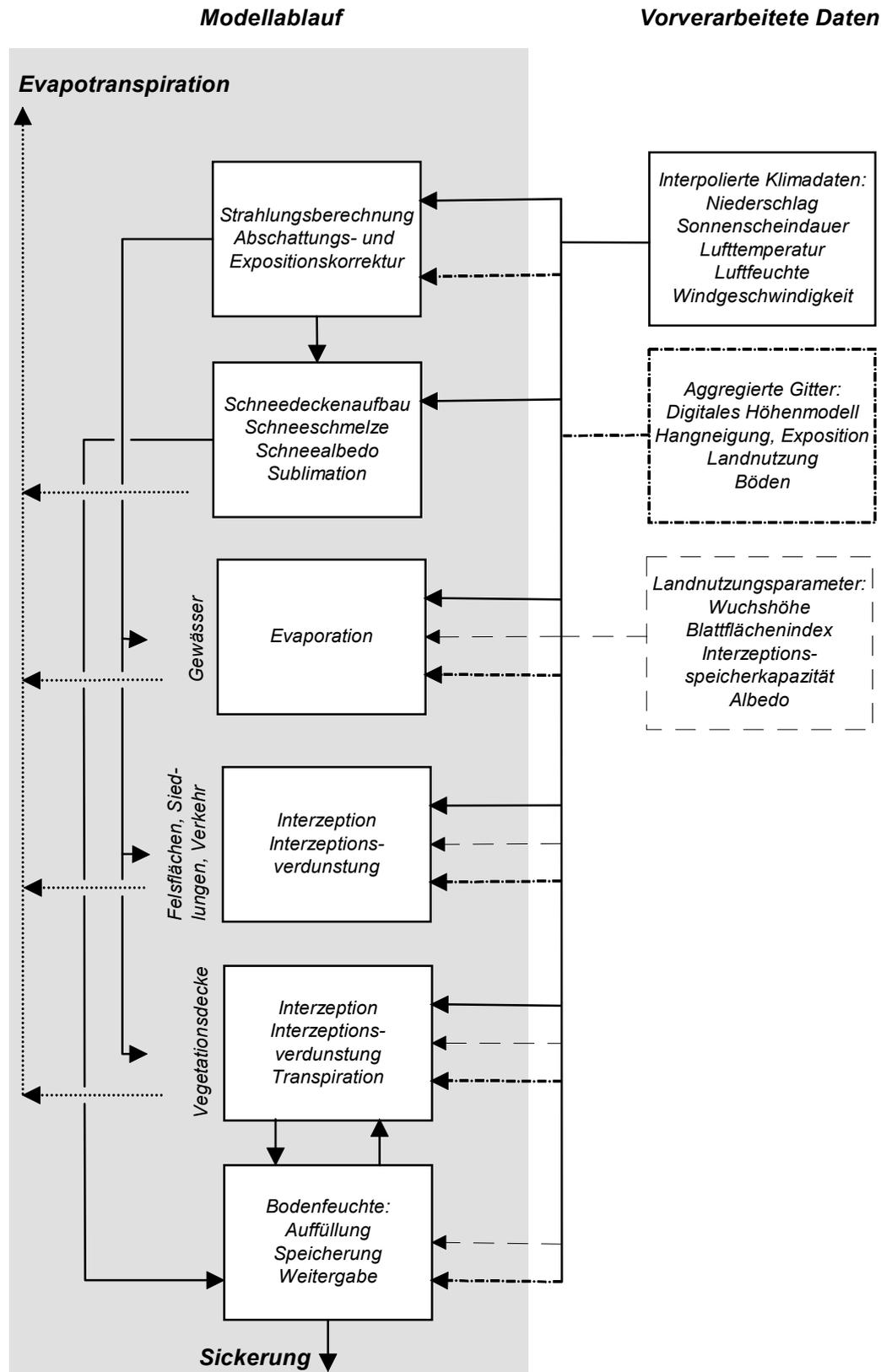


Abbildung 6-6: Schema zum Aufbau des Verdunstungsmodells TRAIN mit den wichtigsten Modellkomponenten, Eingangsdaten und Verknüpfungen (MENZEL 2000, unveröffentlicht)

Invariante Datensätze

Der zweite Eingangsdatensatz beinhaltet bereits räumlich verteilte und zeitlich invariante Datensätze wie das Digitale Höhenmodell (DHM), die Landnutzung (CORINE-Landnutzungskartierung) und die digitale Bodenübersichtskarte Rheinland-Pfalz (BÜK) (vgl. Abbildung 6-6). Dabei beträgt die räumliche Auflösung bei der Modellierung des Einzugsgebietes des Glan 500 x 500 m. Im Rahmen dieser Arbeit werden die vorhandenen Daten für Rheinland-Pfalz mit dem Einzugsgebiet des Glan verschnitten. Aus den Daten des DHM werden außerdem die Hangneigung und die Exposition im Einzugsgebiet des Glan berechnet. Aufgrund der relativ groben Auflösung weisen die Daten keine extremen Werte auf, so daß bezüglich der Strahlungs- und Abschattungsberechnung mit Einbußen zu rechnen ist. (vgl. Kap. 1.4.1). Ferner erfolgt für die Modellierung mit TRAIN eine Aggregation der Landnutzungsklassen von 22 auf 8 Kategorien, um eine Vergleichbarkeit mit den Landnutzungskarten der modellierten Szenarien aus LADEMO zu gewährleisten (vgl. Kap. 6.2).

Parametrisierung der Landnutzungsklassen

Bei der Modellierung von Grundwasserneubildung und Verdunstung bei unterschiedlichen Landnutzungen ist unter anderem deren Parametrisierung entscheidend für die Qualität des Ergebnisses. In TRAIN werden dazu für jede Landnutzung zeitlich variable Parametersätze bereitgestellt (vgl. Abbildung 6-6). Bei Vegetationsflächen sind dies z.B. Tageswerte der Bestandeshöhe, des Blattflächenindex (LAI), der Interzeptionsspeicherfähigkeit und der Albedo. Dabei ist die zeitliche Entwicklung der Parameter zudem „höhenabhängig, um der kürzeren Vegetationszeit in höheren Lagen Rechnung zu tragen“ (MENZEL 1999a, 13). Die zeitliche Entwicklung der Parameter ist in allen Jahren des Auswertzeitraumes identisch. Bei vegetationslosen Flächen stellen zeitlich meist invariante Angaben zur Rauhlängigkeit und zur Albedo die Grundlage dar, während bei Siedlungs- und Verkehrsflächen zusätzlich Angaben zur Interzeptionsspeicherkapazität beachtet werden (ebd. 14). Abbildungen, welche die zeitliche Parametrisierung der einzelnen Landnutzungsklassen in TRAIN darstellen, befinden sich in Anhang 6-1. Die Parametrisierung in TRAIN wurde aus der Modellierung für die Verdunstungskarte Rheinland-Pfalz entnommen. Dabei ist es nicht das Ziel, diese zu beurteilen. Es wird davon ausgegangen, daß sie die realen Verhältnisse ausreichend gut widerspiegelt (vgl. Kap. 7).

Bodenparameter

Die Angaben der Bodenparameter wie die Gründigkeit und das Wasserspeichervermögen werden für TRAIN in hydrologisch bedingte qualitative Abstufungen unterteilt. Über die Festlegung von invarianten Zahlenwerten z.B. zur Durchwurzelungstiefe werden Grundwasserneubildung und Verdunstung berechnet (vgl. Kap. 6.3.3). Die Aggregation der Bodenklassen in TRAIN wurde wie bereits die Parametrisierung der Landnutzungsklassen aus der Modellierung für die Verdunstungskarte Rheinland-Pfalz übernommen. So wird

hier ebenfalls angenommen, daß die Einteilung und Parameterzuordnung plausibel erfolgt ist und auf das Einzugsgebiet des Glan angewendet werden kann.

6.3.3 Funktionsweise

Nach der Vorbereitung der benötigten Eingangsparameter (vgl. Kap. 6.3.2) erfolgt deren Zusammenführung in den verschiedenen Teilmodellen und die Berechnung der einzelnen Komponenten der Grundwasserneubildung und der Verdunstung (vgl. Abbildung 6-6). Im folgenden werden die einzelnen Modellkomponenten kurz umrissen. Die Darstellung erfolgt nach Angaben von MENZEL (1999a), sofern nichts anderes angegeben ist.

Abschattungsberechnung

Besonders in hügeligen Regionen wie im Einzugsgebiet des Glan sorgen topographische in Verbindung mit himmelsmechanischen Gegebenheiten durch unterschiedliche Einstrahlungs- und Abschattungsbedingungen für zum Teil große Variationen im nutzbaren Energieangebot. Dieses wirkt sich direkt auf die Verdunstungsleistung der Flächen aus. Auf Grundlage der räumlich interpolierten Daten der Sonnenscheindauer bzw. der Globalstrahlung werden daher unter Verwendung des Digitalen Geländemodells Abschattungsberechnungen durchgeführt.

Transpirationsmodul

Die Transpirationsberechnungen im Modell TRAIN beruhen auf dem Penman-Monteith-Ansatz. Dabei wird bei der notwendigen Bereitstellung der Bestandeswiderstände auf den Ansatz von MENZEL (1997) zurückgegriffen. Dieser berücksichtigt den aktuellen Zustand der Pflanzen über die Entwicklung des Blattflächenindex, das Bodenfeuchtedefizit und die Lufttemperatur, um den Vorgang der Transpiration über die Stomataöffnungen wiederzugeben.

Interzeptionsmodul

Aufgrund von ausgedehnten Feldversuchen konnte die Modellierung der Interzeption im Modell TRAIN relativ detailliert erfolgen. Dabei wird die Vegetationsdecke in mehrere Schichten unterteilt, auf die der Niederschlag unterschiedlich auftrifft. Bei der ungleichmäßigen Verdunstung ist vor allem die bestandesinnere Variation der meteorologischen Parameter maßgeblich.

Evaporation

Die Berechnung der Evaporation von schneebedeckten Oberflächen (Sublimation) und aus Seen erfolgt ebenfalls über die Penman-Monteith-Beziehung. In diesem Zusammenhang werden sowohl das Energieangebot und die dazugehörige Formulierung der Albedo als

auch die aerodynamischen Eigenschaften des Geländes mit einbezogen. Letztere werden im Modell TRAIN über invariante Rauigkeitslängen parametrisiert.

Bodenmodul

Zur Berechnung des Bodenwasserangebots, das für die Pflanzen und damit für die Transpiration zur Verfügung steht, werden die vorliegenden Daten aus der Bodenübersichtskarte verwendet. Aus ihnen werden die Angaben zur nutzbaren Feldkapazität ermittelt. Des Weiteren erfolgt die Auffüllung des Bodenfeuchtespeichers durch modellierte Schmelzwasserraten bzw. den Nettoniederschlag, der aus der Differenz von Freilandniederschlag und Interzeption gebildet wird. Die auftretende Tiefensickerung stellt eine potentielle Grundwasserneubildung dar, die unterhalb des durchwurzelten Raumes nicht mehr aufsteigen kann. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Begriffe Tiefenversickerung, Versickerung sowie Grundwasserneubildung als Synonyme verwendet.

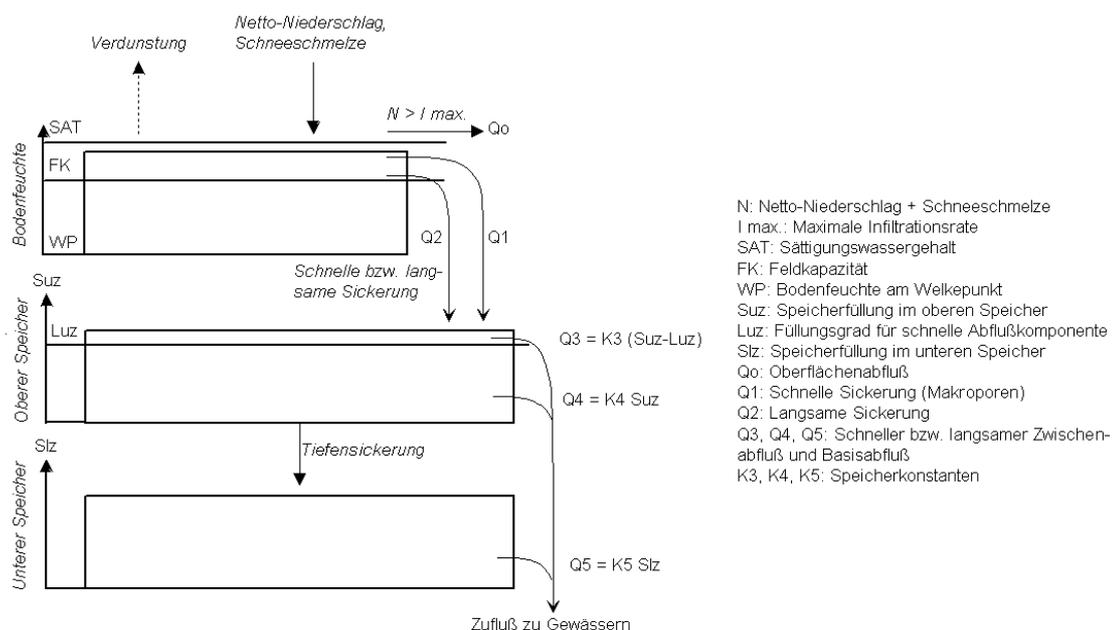


Abbildung 6-7: Schematische Darstellung der Funktionsweise des Bodenmoduls in TRAIN (MENZEL 2000, unveröffentlicht)

Bei der weiteren Berechnung der Versickerung sowie der entsprechenden Verdunstungskomponenten werden die Speicherfüllungen im unteren, oberen sowie die aktuelle Bodenfeuchte berücksichtigt und modelliert (vgl. Abbildung 6-7). Im weiteren Verlauf erfolgen schnelle und langsame Sickerungen über Makroporen und den Bodenkörper sowie schnelle und langsame Zwischen- und Basisabflüsse. Über die Berücksichtigung dieser Komponenten sowie der Speicherkonstanten wird eine sich ändernde Bodenfeuchte mit den entsprechenden Auswirkungen auf Verdunstung und Versickerung simuliert. In der derzeit gültigen Version von TRAIN ist der kapillare Aufstieg aus dem Grundwasser noch nicht berücksichtigt, wobei dieser in Rheinland-Pfalz auch nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Ferner werden bislang die Abflußkomponenten zu den Gewässern weder ausgegeben noch auf Bilanzreinheit überprüft. Eine diesbezügliche Weiterentwicklung des Modells TRAIN ist geplant.

Schneemodul

Im Rahmen des Schneemoduls werden neben den Prozessen des Schneedeckenauf- und -abbaus auch Albedovariationen auf alterndem Schnee modelliert. Dabei wird die Schneeakkumulation nach SCHULLA (1997) berechnet, indem die Lufttemperatur der entscheidende Faktor für den Aggregatzustand des Niederschlages ist. In einem Übergangsbereich der Temperatur ist außerdem das gleichzeitige Auftreten von Schnee und Regen möglich. Die Berechnung des Schneeschmelzvorganges ist an das Temperatur-Index-Verfahren angelehnt. In der gültigen Version von TRAIN ist der Schmelzfaktor dabei nicht veränderlich.

Die Albedovariationen werden nach PLÜSS (1997) in Abhängigkeit von der Zeitspanne seit dem letzten Schneefall und der Temperatur in diesem Zeitraum ermittelt.

6.3.4 Modellierung

Für die Modellierung der Landnutzungsszenarien waren kaum Vorarbeiten notwendig, da auf die Datengrundlage des Projektes der Verdunstungskarte Rheinland-Pfalz zurückgegriffen werden konnte. So mußten lediglich die vorhandenen Grundlagendaten aus der Modellierung mit dem Einzugsgebiet des Glan verschnitten werden. Die Durchführung der Simulation im Rahmen dieser Arbeit erfolgte anschließend für die Landnutzungsgrids der einzelnen Szenarien. Das Ergebnis stellt für jedes der sechs Szenarien 26 Grids dar. Darunter befinden sich für den modellierten Zeitraum von 30 Jahren (1961-1990) zwei Grids mit der durchschnittlichen jährlichen Verdunstung und Versickerung (=Grundwasserneubildung) und 24 Grids mit den durchschnittlichen Werten für jeden Monat. Eine Darstellung der Ergebnisse erfolgt im Kapitel 7.

6.3.5 Verifizierung

Definition

Unter *Verifizierung* wird im allgemeinen die Überprüfung verstanden, mit der die Richtigkeit von etwas bestätigt werden soll. Auf die Modellierung bezogen bedeutet das, die Überprüfung der Güte des Modells an einer Zeitreihe, die nicht eigens für das Modell angepaßt wurde. Die Zeitreihe muß also unabhängig von der Modellierung sein. Dabei werden im allgemeinen nur die Daten geprüft, nicht jedoch die Methoden und die Anwendbarkeit des Modells für die Aufgabenstellung. Eine weitergehende Prüfung in diesem Sinne wird als *Validierung* bezeichnet.

Methoden

Für eine Verifizierung stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung:

- Überprüfung der simulierten Daten anhand von Punktmessungen, z.B. Lysimetermessungen
- Berechnung der Verdunstung aus der Wasserhaushaltsgleichung:

$$\text{Verdunstung} = \text{Niederschlag} - \text{Abfluß} (- \text{Speicherung})$$

Dabei wird die Differenz aus langjährigen Gebietsniederschlagsdaten und den entsprechenden Gebietsabflußhöhen, die aus den Pegelmessungen abgeleitet werden, berechnet. Hierzu können auch Wasserbilanzstudien herangezogen werden, sofern solche vorhanden sind.

Herangehensweise

Für das Einzugsgebiet des Glan stehen keine geeigneten Wasserbilanzstudien zur Verfügung. Des weiteren liegen zwar für den Pegel Odenbach Pegelmessungen vor, da dieser jedoch mit 1087 km² nur einen Großteil des Einzugsgebietes von 1222 km² abdeckt, wird auf eine Verifizierung mit dieser Methode verzichtet. Im Rahmen dieser Arbeit wird daher eine Verifizierung der Modellierung mit TRAIN anhand von verschiedenen Lysimetermeßreihen durchgeführt.

Exkurs: Lysimeter

Unter einem Lysimeter versteht man ein *Gerät zur Messung der Versickerung*. Es handelt sich dabei um einen ebenerdigen, belüfteten Bodenzylinder, der entweder ausgestochen oder eingefüllten Boden beinhaltet. Sein Volumen, die darin enthaltene Bodenart und der Bewuchs sind bekannt. Das Lysimeter ist mit Auffang- und Meßvorrichtungen ausgestattet, mit denen das auftretende Sickerwasser gemessen wird. Neben der Versickerung kann außerdem die aktuelle Evapotranspiration mittels der Wasserhaushaltsgleichung berechnet werden. Dazu sind ferner Niederschlagsmessungen notwendig. Bei *wägbaren Lysimetern* kann die Verdunstung durch die Messung der Wasservorratsänderung auch für kurze Zeiträume wie z.B. Tage oder Stunden ermittelt werden (vgl. MENZEL 1989, 23).

In der Annahme, daß Lysimeter einen Ausschnitt aus der Umgebung darstellen, lassen sich damit Berechnungs- und Modellansätze überprüfen bzw. weiterentwickeln. Da es aber nur bedingt möglich ist, die Punktmessungen der Lysimeter auf die Fläche zu übertragen, müssen verschiedene Fehlerquellen vermieden werden:

In erster Linie ist für die Qualität der Meßergebnisse die Standortwahl eines Lysimeters mit entscheidend. Da z.B. Lysimeter nur vertikale, nicht jedoch laterale Fließprozesse

abbilden können, sind Standorte an Hängen nicht geeignet. Meßfehler selbst entstehen in erster Linie bei der Niederschlagsmessung. Darüber hinaus benötigt die Ausbildung der Kapillarstruktur im Bodenkörper des Zylinders nach dem Einbau eine gewisse Anlaufphase. Zu beachten ist dabei, daß bei einem Lysimeter kein kapillarer Aufstieg aus dem Grundwasser möglich ist. In der Regel handelt es daher um grundwasserferne Standorte, sofern es sich nicht um spezielle Grundwasser-Lysimeter handelt. Baulich bedingt kann des weiteren ein veränderter Bodenwärmehaushalt an Strahlungstagen sein, der beispielsweise erhöhte Verdunstungswerte verursachen kann.

Neben Art und Wachstumszustand der Vegetation beeinflussen außerdem Bodenart, Grundwasserspiegel und andere Größen die Verdunstung und die Grundwasserneubildung. In einem Lysimeter ist es daher entscheidend, wie realitätsnah diese Faktoren ausgebildet werden. Zu den wichtigsten Voraussetzungen gehört dabei eine gewisse Mindestdiefe wie auch –breite. Dies verhindert eine Verfälschung der Ergebnisse durch den im Lysimeter entstehenden Kapillarsaum und den fehlenden Anschluß zum Grundwasser. Ferner entstehen an den Rändern des Zylinders bevorzugte Fließwege des Sickerwassers, die sich mit der Breite des Gefäßes relativieren.

Die Verifizierung anhand von Lysimetern hat sich als einzige Möglichkeit herausgestellt, auch wenn damit gewisse Unsicherheiten verbunden sind. Letzteres bezieht sich in erster Linie auf die Skalenübertragung von den Punktmessungen der Lysimeter auf die flächenhafte Simulation mit TRAIN, deren kleinste Einheit ein Pixel mit der Kantenlänge von 500 x 500 m darstellt. Dabei ist es zudem notwendig, daß die zugrundeliegenden Variablen wie Höhenlage, Landnutzung oder Bodentyp beider zu vergleichenden Messungen bzw. Modellierungen möglichst identisch sind.

Auswahl der Lysimeterstationen

Für die Auswahl der Lysimeterstationen werden 18 zur Verfügung stehende Lysimeter, die sich sowohl im Einzugsgebiet des Glan als auch in unmittelbarer Nähe befinden, auf verschiedene Kriterien geprüft.

Für einen Vergleich sollen die grundlegenden Variablen, die für die Modellierung verwendet werden, möglichst identisch sein. Daher wird bei der Auswahl der Lysimeter darauf geachtet, daß die Landnutzungen, die für die Lysimeter angegeben sind, sich in der Aggregation von TRAIN identifizieren lassen. So wird auf Lysimeter mit der Landnutzung *Garten* verzichtet, da die Angabe für einen sinnvollen Vergleich zu allgemein scheint. Statt dessen scheinen die Angaben *Ackerland* und *Grünland* besonders geeignet für einen Vergleich zu sein.

Darüber hinaus ist es notwendig, daß die vorhandenen Messungen der Lysimeter möglichst lange und lückenlose Zeitreihen aufweisen. So kann man davon ausgehen, daß erst bei Meßreihen von über 10 Jahren der Speicherfaktor in der Wasserhaushaltsgleichung zu vernachlässigen ist. Ferner benötigt jedes Lysimeter eine gewisse Einlaufzeit, bis es meßfehlerarme Ergebnisse liefert.

Bei der Untersuchung der 18 Lysimeter nach diesen Kriterien stellen sich 3 als geeignet heraus:

- Waldmohr
- Eichelscheider Hof 1
- Eichelscheider Hof 2

Alle drei Lysimeter befinden sich im oberen Einzugsgebiet des Glan (vgl. Abbildung 1-8). Wünschenswert wäre zwar eine gleichmäßige Verteilung über das Gebiet, jedoch erfüllen die dortigen Lysimeter die grundlegenden Kriterien nicht (s.o.). Dabei liegt das Hauptproblem in der Regel in zu großen Meßlücken bzw. zu kurzen und unzusammenhängenden Meßphasen, zum anderen in den Landnutzungen.

Das Lysimeter *Waldmohr* weist die Landnutzung Grünland und Braunerde als Bodentyp auf. Die Meßreihe geht von 1981 bis 1991, wobei sowohl die Messungen vor 1982 als auch die nach 1989 große Lücken aufweisen. Für die Verifizierung wird daher nur auf die Daten zwischen 1982 und 1989 zurückgegriffen.

Die Lysimeter *Eichelscheider Hof 1 und 2* liegen auf demselben Standort mit denselben Charakteristika (vgl. Tabelle 6-1), die als Landnutzung Ackerland und als Bodentyp Stau- nässeböden darstellen. Dabei ist die Meßreihe des Lysimeters Eichelscheider Hof 1 trotz relativ langer Messungen zwischen 1956 und 1980 erst ab 1971 ohne Lücken und damit erst ab 1971 verwendbar. Die längste lückenlose Meßreihe weist das Lysimeter Eichelscheider Hof 2 auf, die zwischen 1962 und 1980 auswertbar ist.

Auswahl der Referenzpixel in TRAIN

Für den Vergleich der Lysimeterdaten mit den simulierten Daten in TRAIN sollen möglichst viele Variablen identisch sein. Dabei ist das naheliegendste Kriterium der Standort. So gelten bei der Verifizierung zunächst die Standorte der Lysimeter als maßgebend. Zusätzlich wird die Modellierung in TRAIN neben der Landnutzung auf die Bodencharakteristika aufgebaut, so daß zwecks der Vergleichbarkeit eine möglichst gute Übereinstimmung mit den Lysimeterstandorten zu erzielen ist.

Tabelle 6-13: Gegenüberstellung der grundlegenden Charakteristika der Lysimeterstandorte und der ausgewählten Referenzpixel in der Modellierung mit TRAIN

Standort	Lysimeter		Referenzpixel	
	Land-nutzung	Bodentyp / Bodenart	Land-nutzung	Bodentyp / Bodenart
Waldmohr	Grünland	Braunerde / Sand, Schluff	Grünland	Ranker, Braunerde / Sand, Schluff
Eichelscheider Hof 1/2	Acker	Staunässeböden / Sand, Torf	Acker	Anmoor-, Naßgley / (Sand), Schluff, Lehm, Ton, (Torf)

Aufgrund der auftretenden Unterschiede der Charakteristika der standortgetreuen Pixel zu den Lysimeteereigenschaften erfolgt eine Untersuchung der umgebenden Pixel. Sowohl für den Standort Waldmohr als auch für den Standort Eichelscheider Hof 1/2 kann je ein direkt angrenzendes Pixel mit den ähnlichen Charakteristika gefunden werden (vgl. Tabelle 6-13). Diese Referenzpixel sind für einen Vergleich der Modellierungsergebnisse von TRAIN mit den Daten der Lysimeter geeignet.

Ergebnisse der Verifizierung

Die Daten der Lysimeterstationen umfassen sowohl Messungen des Niederschlags als auch der Sickerung. Für die Verifizierung mußte daher die Verdunstung aus den Lysimetern erst berechnet werden. Dies geschah mittels der Wasserhaushaltsgleichung, da Lysimeter geschlossene Systeme darstellen. Ab Meßreihen von etwa 10 Jahren kann man die Speicherkomponente vernachlässigen. Die Berechnungsgleichung lautet dann:

$$\text{Verdunstung} = \text{Niederschlag} - \text{Abfluß} (- \text{Speicherung})$$

Die Datentabellen der Lysimeter und der Modellierungen mit TRAIN befinden sich im Anhang 6-2. Dabei ist zu beachten, daß TRAIN ein Verdunstungs- und kein Wasserhaushaltsmodell darstellt. Es simuliert die Verdunstung aufgrund von meteorologischen, bodenphysikalischen sowie pflanzenphysiologischen Parametern, so daß eine Auflösung der Wasserhaushaltsgleichung nicht erforderlich ist.

Die Ergebnisse der Verifizierung für das Lysimeter *Waldmohr* sind weder bezüglich der Verdunstung noch der Grundwasserneubildung zufriedenstellend. Dabei ist anzumerken, daß trotz der relativ kurzen Meßreihe von 8 Jahren die Speicherkomponente vernachlässigt wird, da hierzu keine Daten zur Verfügung stehen. Auch wird zusätzlich zu der Kürze der Meßreihe ein Problem in der grundsätzlichen Verwendbarkeit der Daten gesehen. So ergeben sich bei der Berechnung der monatlichen Verdunstungshöhen zum Teil stark negative Werte, die in der Natur unwahrscheinlich sind (vgl. Abbildung 6-8). Die Ursachen liegen vor allem darin, daß sich das Lysimeter Waldmohr infolge der Hanglage im Einfluß

von Oberflächenwasser befindet und es so zu Meßfehlern in Form von deutlich zu hohen Sickerungswerten kommt (vgl. TUD 1993, 12 u. Abbildung 6-9). Darüber hinaus kommen sehr wahrscheinlich auch Niederschlagsmeßfehler oder zumindest die Verwendung unkorrigierter Niederschlagsmengen zur Bilanzierung hinzu (vgl. Anhang 6-2). Dies führt insgesamt zu eindeutig zu niedrigen Verdunstungshöhen im Jahresmittel.

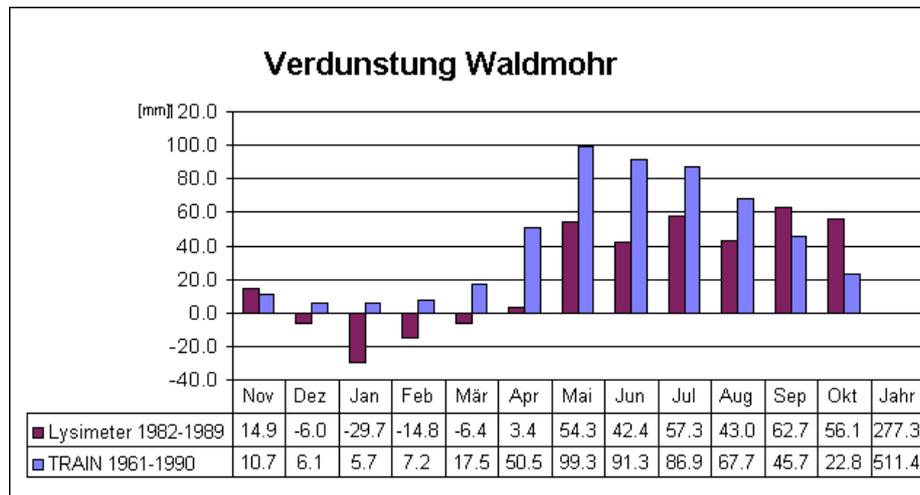


Abbildung 6-8: Vergleich der gemessenen und der modellierten Verdunstung [mm] an der Lysimeterstation Waldmohr in langjährigen Jahres- und Monatsmitteln

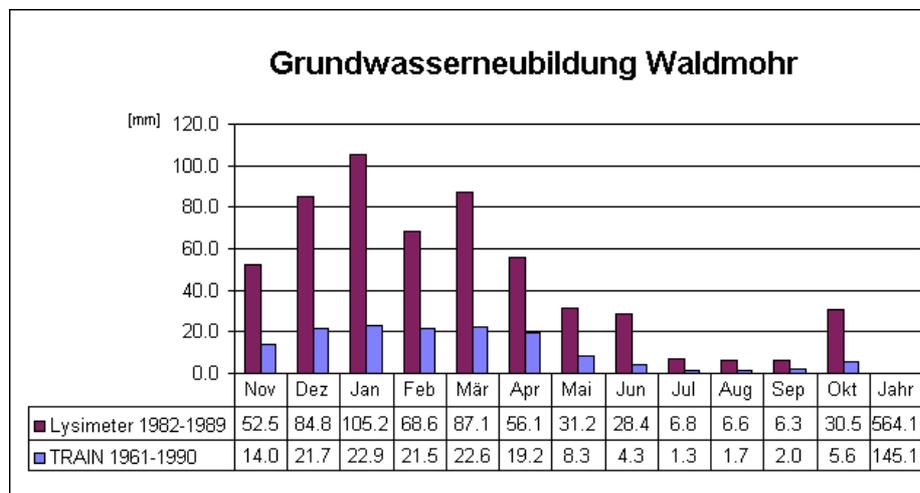


Abbildung 6-9: Vergleich der gemessenen und der modellierten Versickerung [mm] an der Lysimeterstation Waldmohr in langjährigen Jahres- und Monatsmitteln

Für die Verifizierung am Standort *Eichelscheider Hof* ist eine Unterscheidung der beiden Lysimeter sinnvoll, da deren Sickerungswerte trotz gleichen Bodens und gleicher Landnutzung äußerst verschieden sind (vgl. Abbildung 6-10 bis 6-11). Zu bemerken ist außerdem, daß beide Lysimeter 1980 aufgegeben wurden, da die Standorte um die Lysimeter herum unter Einfluß von Kapillarwasser stehen. Dies führte zu nicht repräsentativen Messungen der Grundwasserneubildung, so daß die Werte nicht auf die Region übertragbar sind (vgl. TUD 1993, 12).

Bei näherer Betrachtung der Werte des *Lysimeters 1* wird deutlich, daß bei einer Meßreihe von zehn Jahren die Verdunstung das ganze Jahr mehr oder weniger gleichbleibend verläuft, während der Höchstwert im November gemessen wird (vgl. Abbildung 6-10). Dies ist absolut unwahrscheinlich und kann daher auf fehlerhafte Messungen zurückgeführt werden. Im Gegenzug liegen die Werte der Versickerung im selben Zeitraum bei etwa einem Zehntel der übrigen Messungen sowie der Modellierung mit TRAIN (vgl. Abbildung 6-11). Die Messungen des Lysimeters 1 werden daher als fehlerhaft verworfen und nicht zur Verifizierung herangezogen.

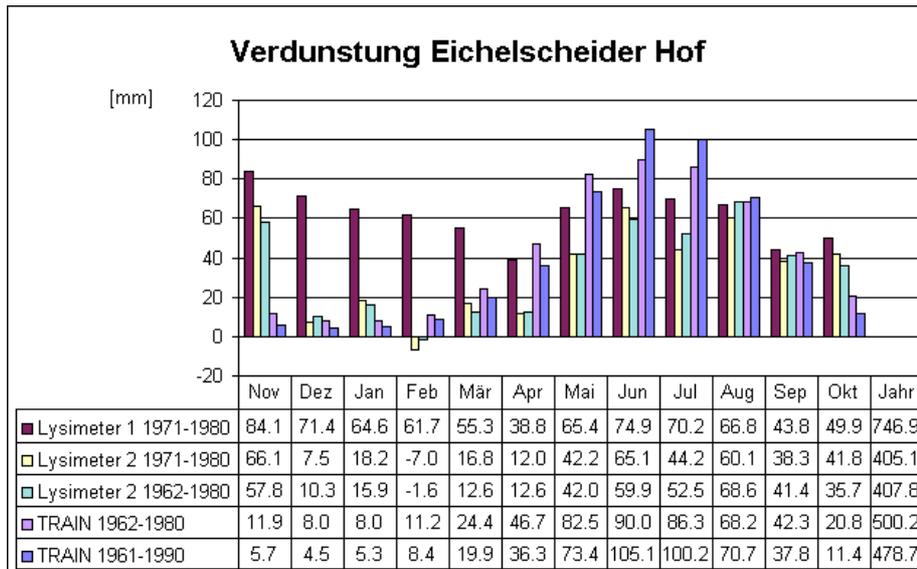


Abbildung 6-10: Vergleich der gemessenen und der modellierten Verdunstung [mm] an der Lysimeterstation Eichelscheider Hof in langjährigen Jahres- und Monatsmitteln

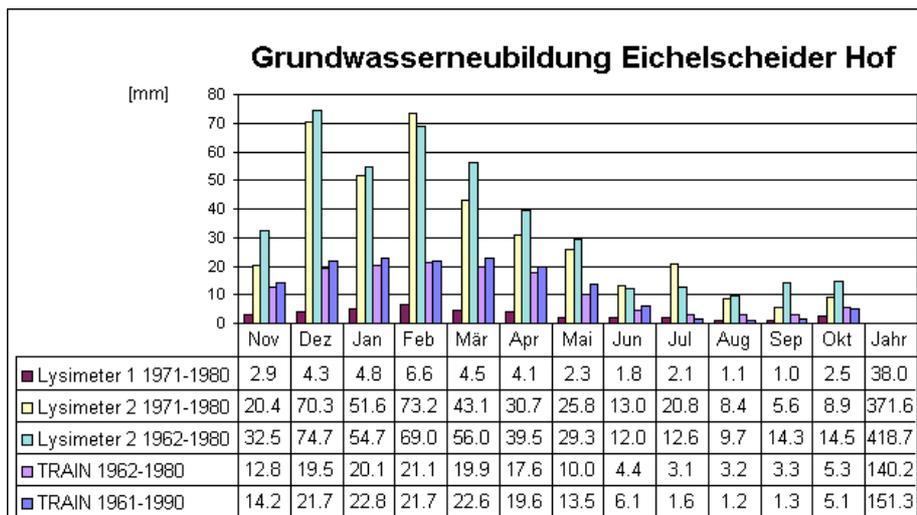


Abbildung 6-11: Vergleich der gemessenen und der modellierten Versickerung [mm] an der Lysimeterstation Eichelscheider Hof in langjährigen Jahres- und Monatsmitteln

Die Angleichung der Werte des *Lysimeters 2* an die der Modellierung mit TRAIN scheint auf den ersten Blick um einiges besser zu sein. Allerdings erkennt man bei genauerem Hinsehen, daß auch hier entschieden zu hohe Verdunstungswerte im November auftreten (vgl. Abbildung 6-10). Dabei liegen z.B. die Monatssummen von April, Mai, Juli bis Oktober zum Teil weit unter diesem Wert von 57.8 mm, Darüber hinaus werden im Februarmittel durch die zu hoch liegende Versickerung sogar negative Monatssummen erreicht (vgl. Abbildung 6-11). Insgesamt scheinen auch die Werte des Lysimeters Eichelscheider Hof 2 mit Fehlern behaftet zu sein, so daß sie nicht für eine Verifizierung der modellierten Daten aus TRAIN verwendet werden können.

Fazit der Verifizierung

Aufgrund der mangelhaften Möglichkeiten der Verifizierung mittels Lysimeterdaten, aber auch mangels Wasserbilanzen, muß festgestellt werden, daß eine unabhängige Überprüfung der mit TRAIN berechneten Werte für die Grundwasserneubildung und die Verdunstung nicht möglich ist. Es erfolgte dadurch außerdem keine Modelleichung, zu der ferner zum einen Daten fehlten und die zum anderen auch nicht Teil der Aufgabenstellung dieser Arbeit ist. TRAIN benötigt zudem keine Eichung, da die Grundlagen anhand von Feldstudien erarbeitet wurden. Dabei wird von der Gültigkeit dieser Beziehungen in anderen Gebieten ausgegangen.

Dennoch ist es sinnvoll, den mittleren prozentualen Jahresgang der Verdunstung und der Grundwasserneubildung in TRAIN zu überprüfen. Das dabei erkennbare Ergebnis zeigt die typischen Merkmale einer erhöhten Verdunstung in den Sommermonaten und eine größere Grundwasserneubildungsrate in den Wintermonaten auf (vgl. Abbildung 6-8 bis 6-11). Daher wird in Verbindung mit den für die Region plausibel erscheinenden Werten von einer ausreichend guten Abbildung der Verhältnisse durch das Modell TRAIN ausgegangen (vgl. Kap. 7).

6.3.6 Bewertung und Fazit

Die Grundlage des Verdunstungsmodells TRAIN liegt in umfassenden Punktstudien, so daß bei der Interpolation vom Punkt auf die Fläche eine Vereinfachung in der Modellstruktur notwendig war. Ursachen sind dabei zum einen die Rechnerkapazitäten, die bei makroskaligen Gebieten und bei der Betrachtung langer Zeiträume sowie kurzer Zeitschritte, also bei einer enormen Datenmenge, an ihre Grenzen stoßen. Des weiteren liegt dies aber auch an der Verfügbarkeit der notwendigen Eingabedaten selbst.

Nach Aussagen von MENZEL (1999a, 28) bestehen Verbesserungsmöglichkeiten vor allem in der Formulierung der Bestandeswiderstände, welche die pflanzenphysiologischen Reaktionen berücksichtigen, aber auch in der Abbildung der Sublimation und der Seenverdunstung. Darüber hinaus führen Pixelgröße und die rein vertikale Konzeption ohne horizontale Beziehungen der einzelnen Pixel untereinander zu Einschränkungen in der Anwendbarkeit für die ein oder andere planerische Fragestellung. Die geplante Weiterentwicklung

des Modells TRAIN mit dem Ziel einer flächendifferenzierten Simulation der Abflußkomponenten wird dies weiter verbessern.

Dennoch liefert das Verdunstungsmodell TRAIN bereits heute Daten mit einem bisher nicht gekannten Informationsgehalt, die für eine Reihe von Fragestellungen eine große Hilfe darstellen. So ist durch die Berücksichtigung einer Vielzahl an Einflußfaktoren eine Aufteilung der Verdunstung sowie der Versickerung in ihre Einzelkomponenten, die anhand getrennter Module modelliert werden, möglich. Der besondere Vorteil liegt dabei in der räumlich differenzierten Modellierung in geringer zeitlicher Schrittweite. Ferner sind der Auswertzeitraum und die räumliche Auflösung frei wählbar. Insgesamt können daraus ausführliche, überregionale Aussagen zur Verdunstung, ihren Teilkomponenten und den entsprechenden Einflußgrößen wie der Höhenabhängigkeit oder der Landnutzung hervorgehen. Dabei können die Modellierungen auch auf Grundlage von Szenarien aufgebaut werden, wie dies z.B. im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurde.

7 Ergebnisse

Aufgabe dieser Arbeit ist die Simulation der Landnutzungsszenarien sowie die Quantifizierung der damit verbundenen Änderungen der Grundwasserneubildung und Verdunstung. In diesem Kapitel erfolgt daher zunächst die Darstellung der Landnutzungsszenarien und deren räumliche Modellierung mit dem Modell LADEMO. Anschließend werden die wesentlichen Ergebnisse der Simulation mit dem Verdunstungsmodell TRAIN hervorgehoben und interpretiert.

7.1 Ergebnisse der Landnutzungsszenarien

In Kapitel 5 wurde die Entwicklung verschiedener Landnutzungsszenarien beschrieben, deren räumliche Verteilung im Modell LADEMO simuliert wurde (vgl. Kap. 6.2). Da die Ergebnisse für das Verständnis der Modellierungen in Kapitel 6 notwendig waren, erfolgte eine Übersicht über diese bereits in Tabelle 5-1. An dieser Stelle wird nun auf die unterschiedlichen Ergebnisse in der prozentualen Verteilung der einzelnen Landnutzungsklassen eingegangen (vgl. Abbildung 7-1). So bedeuten z.B. 20 % mehr Siedlungsfläche im Stadt-Extrem Szenario im Verhältnis zu anderen Landnutzungen keinen besonders auffälligen Unterschied auf der Fläche (vgl. Abbildung 7-2). Der Grund dafür liegt in dem mit 6 % relativ kleinen Anteil der Siedlungsfläche an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes.

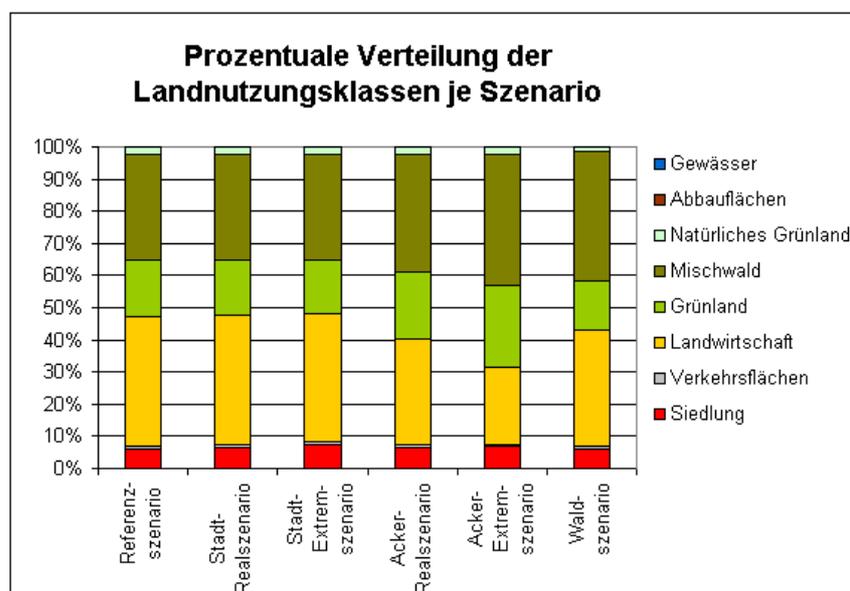


Abbildung 7-1: Prozentuale Verteilung der einzelnen Landnutzungsklassen für jedes Szenario

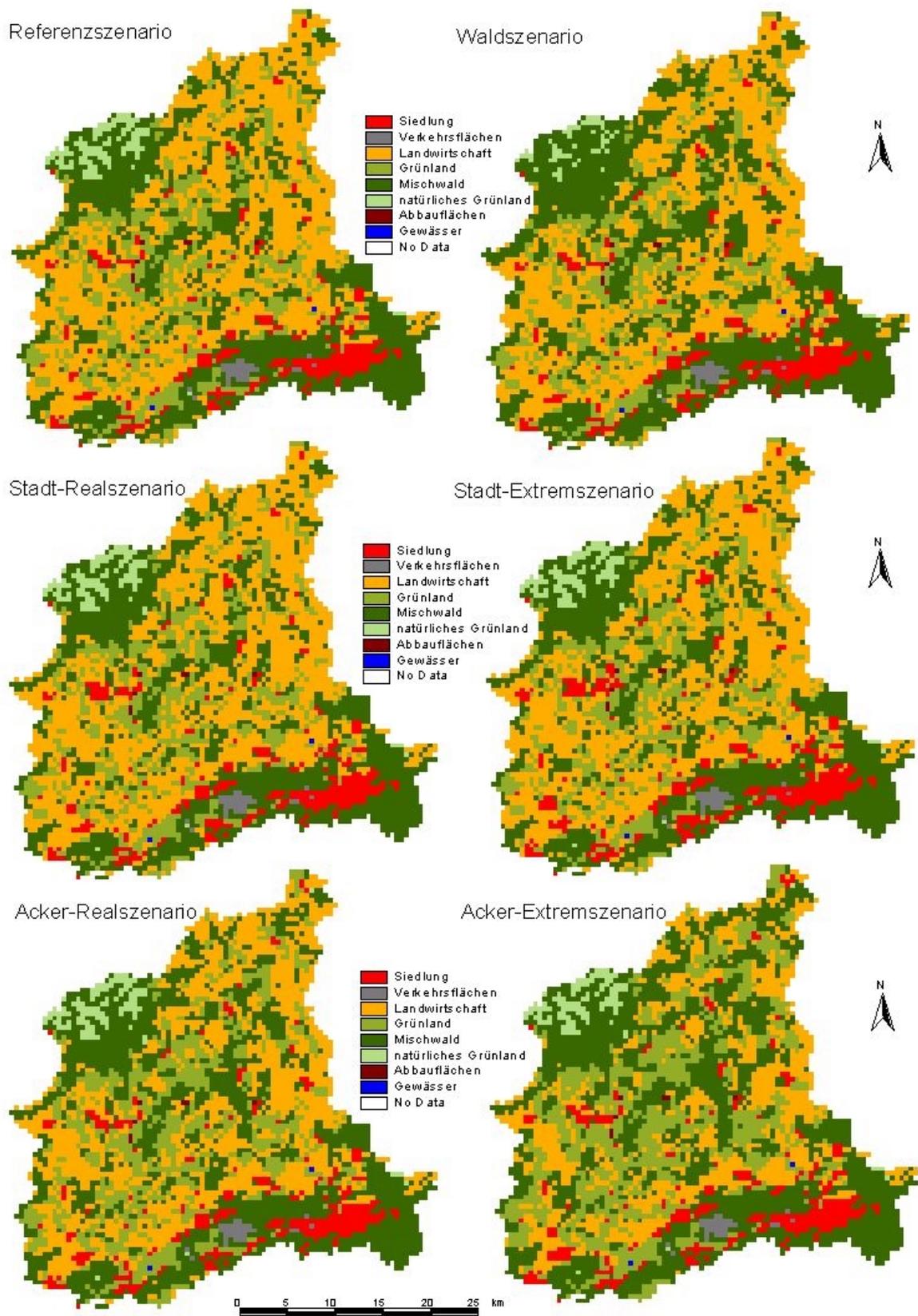


Abbildung 7-2: Ergebniskarten der räumlichen Modellierung der Landnutzungsszenarien mit LADEMO

7.2 Ergebnisse der Modellierung mit LADEMO

Trotz der zum Teil geringen Unterschiede in der Prozentzahl, die für die Landnutzungsänderungen eingesetzt wurde, kann man auf der Fläche zumindest in bestimmten Ausschnitten markante Veränderungen erkennen. Insbesondere die Extremszenarien weisen deutliche Unterschiede in der flächenmäßigen Verteilung der Landnutzungen im Gegensatz zum Referenzszenario auf (vgl. Abbildung 7-2). Bei der späteren Auswertung der Simulation mit TRAIN ist es möglich, den Blickwinkel gezielt auf solche Gebiete zu lenken, wo sich eine deutliche Veränderung vollzogen hat (vgl. Kap. 7.3).

Abbildung 7-2 zeigt in der linken oberen Ecke das *Referenzszenario*, auf das sich die Entwicklungen der Landnutzung beziehen. Es stellt den aktuellen Stand der Landnutzungsverteilung des Einzugsgebietes des Glan dar, wie er in Kapitel 1 beschrieben worden ist.

Daneben kann man im *Waldszenario* (+20 %) eine Waldentwicklung insbesondere im nordwestlichen Bereich des Untersuchungsgebietes erkennen, wo sich der ehemalige Truppenübungsplatz Baumholder befindet (vgl. Abbildung 7-2). Bereits in der Zielfindung des Szenarios wurde eine derartige Entwicklung als wahrscheinlich angesehen (vgl. Kap. 5). Die Zunahme der Waldfläche erfolgt dabei vor allem auf Kosten von natürlichem Grünland, aber auch auf Kosten von Acker- und Grünlandflächen. Daneben findet eine deutliche Entwicklung in den Talauen und an den Berghängen des Glantales statt, wie es durch Förderprogramme und die Festsetzung der Überschwemmungsgebiete gefördert wird (vgl. Kap. 2 u. 3).

Bei den *Ackerszenarien* (vgl. Abbildung 7-2, unten) stellt man dementsprechend besonders in diesen Regionen eine deutliche Abnahme der Landwirtschaftsfläche fest. Dabei kommt es in erster Linie zu einer Umwandlung der Flächen in Grünland, aber auch zu einem Anstieg des Waldanteiles, wie es bereits bei der Szenarioerstellung festgestellt wurde. Letzterer ist im Extremszenario (−41 %) sogar stärker als im Waldszenario selbst, da hier „nur“ von einer Zunahme um 20 % ausgegangen wird. Das Realszenario (−18 %) geht von seiner Entwicklung in dieselbe Richtung, jedoch erwartungsgemäß weniger extrem.

Die *Verstädterungsszenarien* (vgl. Abbildung 7-2, Mitte) zeigen die geringsten Veränderungen auf, da der Anteil der Siedlungsfläche verhältnismäßig gering ist. Dadurch ändert sich auch nur ein relativ kleiner Ausschnitt der Fläche, auch wenn sich beim Extremszenario 20 % mehr Siedlung einstellen. Die Entwicklung findet vor allem in der Gegend in Bereichen der Entwicklungsachsen statt, wie zu erwarten war. In den ländlichen Regionen des Einzugsgebietes erfahren insbesondere Kusel, daneben auch Lauterecken und Odenbach eine Ausdehnung. In der Landstuhler Senke, für die eine schwerpunktmäßige Entwicklung vorausgesagt wurde (vgl. Kap. 2), kommt es vor allem im Bereich von Landstuhl und Otterbach sowie nördlich von Waldmohr zu erkennbarem Siedlungswachstum.

Das Realszenario (+6 %) liegt auch hier logischerweise zwischen dem Extremszenario und dem Referenzzustand.

7.3 Ergebnisse der Modellierung mit TRAIN

Die Ergebnisse der Simulation von Grundwasserneubildung und Verdunstung mit TRAIN sind im Gegensatz zu den Ergebnissen der Szenarien und der Modellierung mit LADEMO wesentlich vielschichtiger. So ergeben sich mannigfaltige Möglichkeiten der Auswertung und Bezugnahme zwischen einer Reihe von Variablen. Die Aufgabenstellung, den Einfluß von Landnutzung auf Grundwasserneubildung und Verdunstung zu untersuchen, legt zum einen die beiden Zielkomponenten Grundwasserneubildung und Verdunstung fest. Weiter ergeben die Ergebnisgrids aus der Modellierung mit TRAIN die Möglichkeit, sowohl mittlere Jahres- als auch mittlere Monatswerte differenziert zu betrachten. Dadurch lassen sich neben den Jahreswerten auch Jahreskurven erstellen.

Ferner ist es Teil der Aufgabenstellung, neben der Betrachtung des gesamten Untersuchungsgebietes auch die einzelnen Landnutzungen genauer zu studieren. Dabei bieten Referenzzustand und Szenarien vielfältige Varianten. Im folgenden werden die Unterschiede der einzelnen Landnutzungen detailliert am Ist-Zustand im Einzugsgebiet des Glan untersucht, sowohl für die mittlere Jahressumme als auch für den mittleren Jahresverlauf der Jahre 1961 bis 1990. Anschließend werden die Einflüsse möglicher Landnutzungsänderungen anhand der modellierten Szenarien analysiert.

7.3.1 Ist-Zustand

Jahresmittel

Betrachtet man zunächst das gesamte Einzugsgebiet des Glan, so berechnet das Verdunstungsmodell TRAIN für das Referenzszenario, also den Ist-Zustand, eine mittlere Jahresverdunstung von 517 mm sowie eine mittlere Jahresversickerung von 142 mm. Untersuchungen, die eine Einordnung der Werte mit der Realität ermöglichen, liegen nicht vor. Jedoch befinden sich die modellierten Werte im Rahmen von Untersuchungen, die z.B. RENGER/WESSOLEK (1993, 123) im Raum Hannover durchgeführt haben, so daß sie als realistisch eingestuft werden.

Mittlere Jahreswerte beinhalten immer nach oben und unten schwankende Werte, wobei dies eine Amplitude sowohl bezüglich der einzelnen Landnutzungen als auch bezüglich der einzelnen Jahre sowie der Monate umfaßt. Dennoch können Mittelwerte insbesondere bei der Betrachtung einzelner Szenarien als Tendenz interpretiert werden (vgl. Kap. 7.3.2).

Verdunstung

Bei genauerer Analyse der einzelnen Landnutzungen im Untersuchungsgebiet ergibt sich aus der Modellierung mit TRAIN bezogen auf die Verdunstung die Reihenfolge: *Mischwald* > *Natürliches Grünland* > (*bewirtschaftetes*) *Grünland* > *Ackerland* > *Siedlung* (vgl. Abbildung 7-3). Dies entspricht den Angaben, die RENGER/WESSOLEK (1993, 123) aufgrund ihrer Untersuchungen für grundwasserferne Standorte im Raum Hannover geben. Es kann daher von einer grundlegenden Richtigkeit der Simulation mit TRAIN ausgegangen werden.

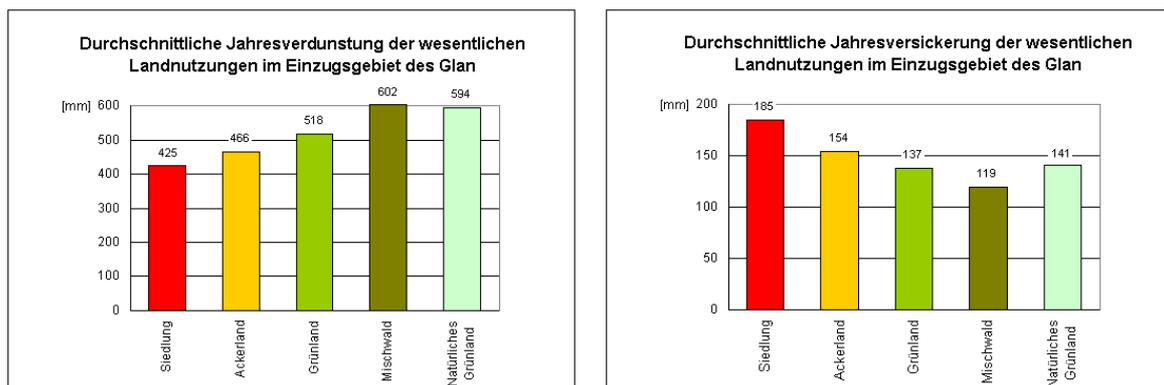


Abbildung 7-3: Mittlere Jahresverdunstung und -versickerung der einzelnen Landnutzungsklassen im Einzugsgebiet des Glan (1961-1990)

Dabei wird deutlich, daß beim *Wald* durch eine erhöhte Interzeption und Transpiration insbesondere während der Vegetationsperiode eine verstärkte Verdunstung erfolgt. Seine Bedeutung für die Dämpfung der Abflußspende wird vor allem im Zuge der Hochwasserdiskussion als hoch eingeschätzt. Wichtig dabei ist jedoch, daß die Auswirkungen stark von Baumart, Alter und Bodenstreu abhängen, da dies sowohl die Interzeptions- als auch die Transpirationsleistung entscheidend beeinflusst (vgl. LfW 1991, 11). Darüber hinaus wird bei Vorhandensein von ausreichend Bodenstreu in der Regel kein Oberflächenabfluß festgestellt.

In einer vergleichenden Untersuchung durch das Landesamt für Wasserwirtschaft in Rheinland-Pfalz (LfW 1991) konnten Durchschnittswerte für die Verdunstung und die Grundwasserneubildung ermittelt werden. Dabei liegen die Verdunstungswerte im allgemeinen zwischen 550 mm^1 und 680 mm^2 (ebd. B-6). Bei der Bildung des Durchschnitts aus Verdunstungswerten mehrerer Wasserbilanzen aus verschiedenen Untersuchungsgebieten konnten 592 mm bestimmt werden (ebd. A-3.1f). Die gute Übereinstimmung zu den Werten, die mit TRAIN ermittelt wurden (602 mm), zeigt eine ausreichende Parametrisierung der Kategorie Mischwald.

¹ etwa 120jähriger Buchen-, Eichenbestand

² etwa 40jähriger Fichtenbestand

Unstrittig sind weiter die modellierten Verdunstungswerte der *Ackerflächen* im Vergleich zu den Werten, die das Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz heranzieht. Dabei kommt es insbesondere während der Vegetationsperiode zu erhöhten Verdunstungswerten, da die Transpiration der Pflanzen hier neben der Interzeption eine wesentliche Rolle spielt. Je länger und je dichter also die Ackerflächen mit Vegetation bestanden sind, desto höher fällt die Verdunstung aus. Im Durchschnitt bei relativ homogenen Angaben kann man mit etwa 414 mm Verdunstung im Jahr rechnen (vgl. LfW 1991, A-5.1f). Für Getreideanbau geht man von 480 mm im Mittel aus (ebd. B-6). Bei der Gegenüberstellung mit den modellierten Werten aus TRAIN mit 466 mm kann man eine gute Übereinstimmung feststellen. Insbesondere bei der Berücksichtigung des hohen Anteils an Getreideanbau im Einzugsgebiet des Glan kann von einer guten Parametrisierung der Landnutzung Ackerland ausgegangen werden.

Eine weitere Art landwirtschaftlicher Nutzung stellt (bewirtschaftetes) *Grünland* dar, welches ganzjährig mit Vegetation bestanden ist. Das bedeutet, daß Interzeptionsverdunstung und Transpiration das ganze Jahr über erhalten bleiben. Durch die Bewirtschaftung als Wiese oder Weide kommt es jedoch (ähnlich wie bei den Ackerflächen) zu Schnitt- und Düngemaßnahmen. Dabei haben Schnittmaßnahmen im allgemeinen einen senkenden Effekt auf die Verdunstung, während die Düngung das Pflanzenwachstum anregt und so zu einer Steigerung führt. Die Wirkung hängt demnach von der Intensität der Bewirtschaftung ab. Insgesamt liegen die mit TRAIN modellierten Werte mit 518 mm etwas über den Vergleichswerten des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz. Diese weisen im Durchschnitt einiger konkreter Untersuchungsgebiete 435 mm auf (vgl. LfW 1991, A-5.1), während allgemeine Angaben bereits von 500 mm ausgehen (ebd. B-6). Dabei ist hervorzuheben, daß unter die betroffenen Untersuchungsgebiete auch extensiv genutzte Grünlandflächen fallen, die durch die fehlende Düngung eine geringere Verdunstung aufweisen. Die Parametrisierung im Modell TRAIN ist demnach als zufriedenstellend einzuschätzen, wobei eine Unterscheidung in extensiv und intensiv genutztes Grünland anzustreben ist.

Auf *natürlichem Grünland*, das im allgemeinen eine Kombination aus Gras- und Buschbrache darstellt, kommt es zu keinerlei Maßnahmen in Richtung Schnitt oder Düngung. Dies führt dazu, daß die Verdunstung zwar ganzjährig stattfindet, jedoch stark von der Bestandeshöhe und -dichte abhängt. So ist auch der Unterschied der mit TRAIN modellierten mittleren Verdunstung von 594 mm im Vergleich zu den durchschnittlichen Untersuchungswerten verschiedener Einzugsgebiete von 469 mm zu erklären. Dabei weisen letztere eher geringere Vegetationshöhen und zum Teil eine gelegentliche Beweidung durch Schafe auf. Im Gegensatz dazu wird im Modell TRAIN von einer ganzjährigen Bestandeshöhe von 30 cm und einem relativ hohen Blattflächenindex zwischen 1.0 und 5.0 ausgegangen. Die Folge ist in Verbindung mit der Transpiration eine verstärkte Interzeptionsverdunstung.

Siedlungen stellen eine Kombination aus versiegelten und unversiegelten Flächen dar. Ein Vergleich stellt sich aufgrund der überall unterschiedlichen Versiegelungsgrade und Vegetationsanteile als schwierig dar. In TRAIN werden Siedlungsflächen daher unter anderem mit einer Interzeptionsspeicherkapazität von 0.6 mm und einer Bestandeshöhe von 10 m parametrisiert. Für voll versiegelte Flächen ergibt sich in Rheinland-Pfalz eine ungefähre Verdunstungsleistung von 40 – 100 mm im Jahr (vgl. LfW 1991, 18). Dabei werden weiter für Asphaltflächen 50 mm und für Pflastersteinflächen 150 mm angegeben (ebd. B-6). Je nach Versiegelungsgrad ergeben sich demnach mehr oder weniger höhere Werte der Verdunstung (und der Versickerung) bezogen auf die Siedlungsfläche. Eine Einschätzung des Versiegelungsgrades und des Vegetationsanteiles der Siedlungen im Einzugsgebiet des Glan ist im Rahmen dieser Arbeit ebenso wie eine Beurteilung des Ergebnisses von 425 mm Verdunstung nicht möglich.

Versickerung

Im Gegensatz zu den Verdunstungswerten zeigt sich bei der modellierten Versickerung in TRAIN die Reihenfolge *Siedlung* > *Ackerland* > *Natürliches Grünland* > (*bewirtschaftetes*) *Grünland* > *Mischwald* (vgl. Abbildung 7-3). RENGER/WESSOLEK (vgl. 1993, 123) stellen in ihrer Untersuchung im Raum Hannover auf grundwasserfernen Standorten ebenfalls die Reihenfolge Acker > Grünland > Mischwald > Nadelwald fest, während bei den Angaben von grundwassernahen Standorten Grünland eine höhere Versickerung als Mischwald aufweist (ebd.).

Dabei kommt es durch die hohe Interzeption und Transpiration unter *Waldflächen* zu einem Bodenwasserdefizit, so daß die mit TRAIN modellierten Werte der Versickerung mit im Mittel 119 mm relativ gering ausfallen (vgl. Abbildung 7-3). Bezogen auf die Vergleichswerte des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz kann eine gute Übereinstimmung festgestellt werden. Die Werte dort fallen im allgemeinen zwischen 70 mm³ und 200 mm⁴ aus (vgl. LfW 1991, B-6), wobei der Durchschnittswert einiger Wasserbilanzen 204 mm ergibt (ebd. A-3.1f). Festzuhalten ist dort die enorme Schwankungsbreite zwischen 0 mm und 588 mm. Für eine Beurteilung der modellierten Werte kann daher festgestellt werden, daß sie im Rahmen der gemessenen bzw. berechneten Vergleichswerte liegen, allerdings andere Parameter wie Bodenstreu, -durchlässigkeit, Bestandesalter, Bestockungsdichte und Baumart für die lokale Situation eine wesentliche Rolle spielen.

Auch auf den *Ackerflächen* hängt die Höhe der Versickerung wesentlich von der Anbaulänge und -frucht ab, genauso wie von der Bodenbearbeitung und dem Umgang mit der Fläche zwischen den Vegetationsperioden. So treten auf Flächen, die mit Hackfrüchten

³ etwa 40jähriger Fichtenbestand

⁴ etwa 120jähriger Buchen-, Eichenbestand

bestellt werden sowie während des Winters eine Schwarzbrache aufweisen, deutlich höhere Versickerungsraten auf als auf ganzjährig bewachsenen Flächen mit schließender Vegetation. Durchschnittlich werden für Ackerflächen 225 mm Versickerung angenommen (vgl. LfW 1991, A-5.1f), bei Getreideanbau sogar 240 mm (ebd. B-6). Die mittleren Werte, die TRAIN für die Versickerung im Einzugsgebiet des Glan berechnet, liegen mit 154 mm deutlich darunter. Dabei wird dies in erster Linie auf die dortigen Böden zurückgeführt, die für Ackerbau als weniger günstig eingestuft werden und somit ein geringeres Wachstum der Pflanzen zur Folge haben (vgl. Kap. 1.4.2). Ferner ist ein Zusammenhang zum Relief durchaus denkbar, das weniger die Sickerung als den oberflächlichen, aber auch den unterirdischen Abfluß fördert.

Durch Maschineneinsatz oder Viehbesatz auf *Grünlandflächen* sind Verdichtungserscheinungen des Bodens die Folge, die wiederum durch die verringerte Infiltrationsrate eine Versickerung erschweren. Dies trifft insbesondere auf intensiv genutzten Grünlandflächen zu. Hier liegt auch der Erklärungsansatz für die deutlich unterschiedlichen Versickerungswerte von TRAIN und den Vergleichswerten des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz. Das Modell TRAIN geht bei der Kategorie Grünland von intensiv genutztem Grünland aus und kommt so zu eher geringen 137 mm Versickerung im Einzugsgebiet des Glan. Demgegenüber beinhaltet der Durchschnittswert aus Wasserbilanzen von verschiedenen Untersuchungsgebieten in der Aufstellung des Landesamtes auch extensives Grünland. Bei den Einzelwerten erkennt man eine deutliche Streuung der Werte zwischen 168 mm und 330 mm, außerdem einen Extremwert von 723 mm (vgl. LfW 1991, A-5.1). Dennoch liegt das Modellierungsergebnis auch unter der mittleren Versickerung von 230 mm, die aus Standortwasserbilanzen in Rheinland-Pfalz hervorgegangen ist (ebd. B-6). Genauere Angaben dazu liegen nicht vor.

Noch extremer fallen die Unterschiede bei der Kategorie *natürliches Grünland* aus, obwohl durch die „Nicht-Nutzung“ der Flächen die Infiltration des Wassers in den Boden im allgemeinen durch Makroporenbildung erleichtert wird. Das Modell TRAIN errechnet dabei eine mittlere Versickerung von 141 mm, während der Durchschnittswert der angegebenen Untersuchungen 388 mm Versickerung ergibt (vgl. LfW 1991, A-5.6). Hier ist allerdings hervorzuheben, daß die Angaben zwischen 267 mm und 477 mm schwanken, wobei ein Extremwert von 706 mm auf ehemaligem Acker und geringer Bestandeshöhe ebenfalls darunter fällt. Darüber hinaus wird hier auf einigen Standorten durch eine gelegentliche Beweidung mit Schafen die Vegetation kurz gehalten. Im Modell TRAIN wird indes von einer durchgängigen Bestandeshöhe von 30 cm ausgegangen, was durch die Vegetation und die dadurch erfolgenden Interzeptionsverluste sowie der verstärkten Transpiration zu wesentlich geringeren Versickerungswerten führt. Bei Berücksichtigung dieser Umstände kann eine zufriedenstellende Wiedergabe der Versickerungswerte durch das Modell TRAIN angenommen werden.

Auf versiegelten Flächen, wie sie zum großen Teil in *Siedlungsflächen* vorzufinden sind, kommt es statt zu einer Versickerung zu einem beschleunigten Oberflächenabfluß, der mit der Kanalisation abgeführt wird. In der Regel ist jedoch keine Siedlung zu 100 % versiegelt, so daß mit einer Versickerung gerechnet werden muß. Aus einzelnen Angaben geht hervor, daß zwar unter Asphalt keine Versickerung möglich ist, jedoch Pflastersteine je nach Fugenanteil von etwa 130 mm bis zu 220 mm Versickerung ermöglichen (vgl. LfW 1991, B-6). Nach WESSOLEK (1992, 156) kann dieser Wert demnach über dem in der freien Landschaft liegen. Hervorzuheben ist jedoch, daß der Gesamtwert für die mittlere Versickerung einer Siedlung je nach Versiegelungsgrad und Vegetationsanteil unterschiedlich hoch ist.

Im Modell TRAIN erfolgt für Siedlungsflächen die Annahme eines durchschnittlich 10 cm mächtigen Bodens, der keine nennenswerte Zwischenspeicherung des Wassers aufweist. Dadurch kommt es zu einer schnellen Weiterleitung des Nettoniederschlags (und der Schneeschmelze) nach unten. Bislang wird noch kein Versiegelungsgrad mit entsprechender Kanalisation berücksichtigt. Dies führt infolgedessen zu erhöhten Versickerungswerten. Für die Zukunft ist eine verbesserte Parametrisierung in diesem Bereich geplant. So soll eine Unterteilung der einzelnen Pixel in unterschiedliche Versiegelungsgrade erfolgen, deren Bodeneigenschaften (z.B. die Infiltrationsrate) eine entsprechend angepaßte Parametrisierung erfahren sollen. Die Beurteilung des aktuellen Wertes der simulierten Versickerung mit 185 mm ist aufgrund der geringen Vergleichsmöglichkeiten für Siedlungsflächen im Gesamten an dieser Stelle nicht möglich.

Jahresverläufe

Neben den Landnutzungen, die verschiedene Jahresmittel der Verdunstung und Versickerung aufweisen, unterscheiden sich diese außerdem in den einzelnen Monatsmitteln. In Abbildung 7-4 sind die Jahresverläufe des gesamten Einzugsgebietes des Glan sowie der wesentlichen Landnutzungen dargestellt. Die simulierten Verdunstungs- und Versickerungswerte geben im allgemeinen verschiedene in Feldstudien gemessene und beschriebene Ergebnisse deutlich wieder.

So kann man im Jahresverlauf der Verdunstung im Einzugsgebiet des Glan ein deutliches Maximum in den Sommermonaten mit dem Höchstwert im Juni erkennen (vgl. Abbildung 7-4a). Zu begründen ist dieser Verlauf mit der Vegetationsperiode, in der es durch die Biomasseproduktion zu einer verstärkten Transpiration und Interzeption kommt. Darüber hinaus verstärken die erhöhten Temperaturen das Sättigungsdefizit der Atmosphäre. In den Wintermonaten kann man eine stark reduzierte, aber vorhandene Verdunstung erkennen, die vor allem durch Evaporation und Interzeption bestimmt wird. Die Evaporation des Bodens tritt im Gegensatz zur Interzeption insbesondere an vegetationslosen bzw. -armen Standorten auf.

Im Gegenzug findet die Versickerung vor allem in den Wintermonaten statt. Dabei sind die „Verluste“ durch die Verdunstung besonders in diesen Monaten gering, so daß der Netto-Niederschlag nach dem Auffüllen des Bodenspeichers weiter in die tieferen Bodenschichten sickern kann. Damit ist ferner das verzögerte Einsetzen der Versickerung in den Wintermonaten zu erklären. Auch in den Sommermonaten kann man eine verzögerte Reaktion der Versickerung auf die Verdunstung beobachten. Das einsetzende Pflanzenwachstum erhöht sowohl die Transpiration als auch die Interzeption, was in unseren Breiten das weitere Auffüllen des Bodenspeichers verhindert. Durch das Abtrocknen des Bodens können die Makroporen ihre Funktion der schnellen Wasserführung nur noch unzureichend erfüllen, so daß die Versickerung abnimmt.

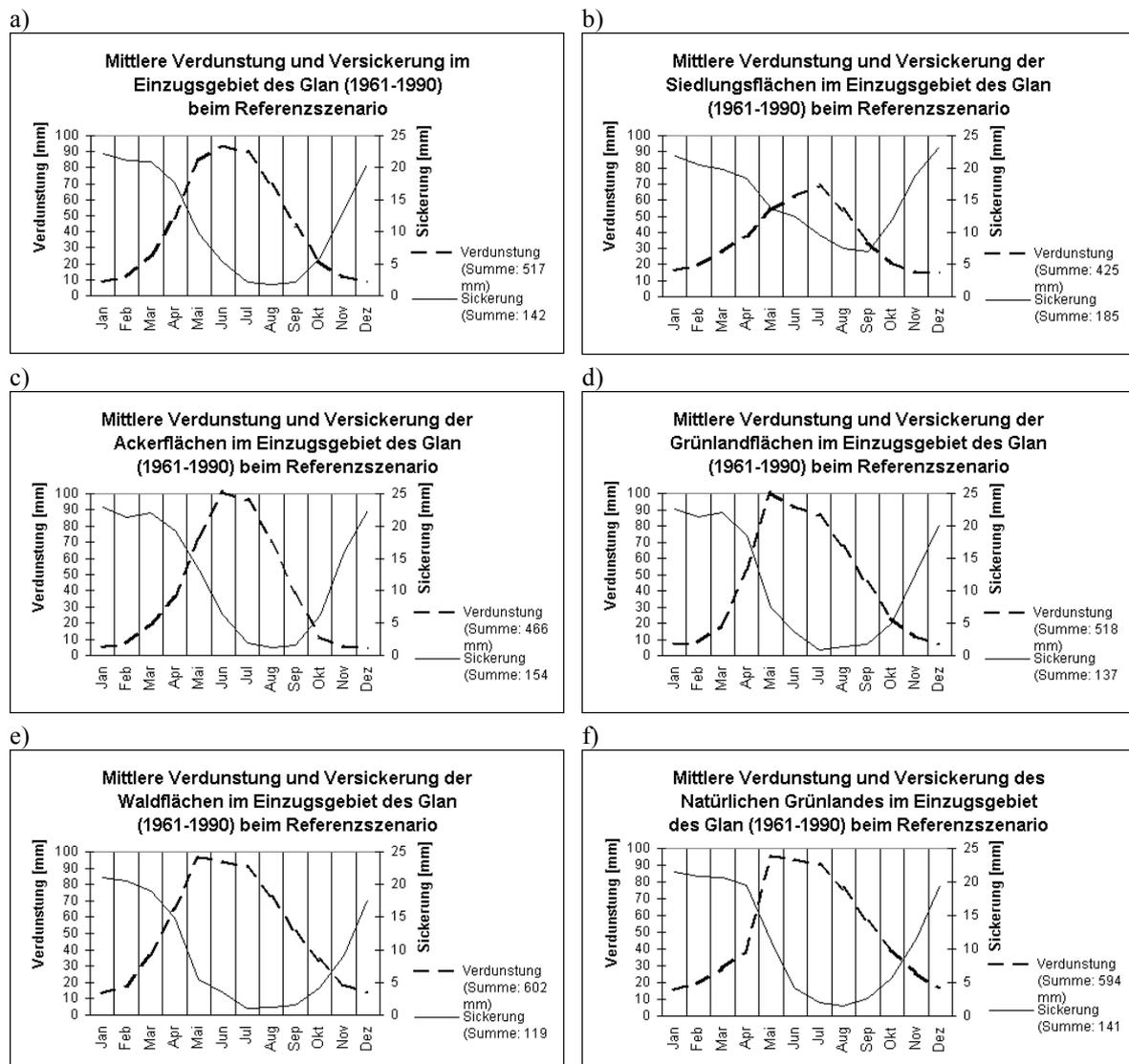


Abbildung 7-4: Mittlerer Jahresverlauf von Verdunstung und Versickerung im Einzugsgebiet des Glan (1961-1990)

- a) für alle Landnutzungen
- c) für Ackerflächen
- e) für Waldflächen

- b) für Siedlungsflächen
- d) für Grünlandflächen
- f) für Flächen des natürlichen Grünlands

Siedlungsflächen beinhalten eine Vielzahl an Strukturen, so daß die Parametrisierung als Summe vieler einzelner Komponenten zu verstehen ist. Insgesamt kann man in Siedlungsbereichen durch die starke Versiegelung und Überbauung sowie der Kanalisierung eine verringerte Versickerung feststellen, die jedoch an den mittleren Jahresgang erinnert. Dasselbe trifft durch den verringerten Vegetationsanteil auch für die Verdunstung zu. Der Unterschied zu den Jahresverläufen der anderen Landnutzungen und des Gesamtgebietes ist als besonders markant einzuschätzen (vgl. Abbildung 7-4). In Abbildung 7-4b kann man die mittlere Verdunstung und Versickerung für die Siedlungsflächen im Einzugsgebiet des Glan im Jahresverlauf betrachten. Ferner fällt hier die grundsätzlich erhöhte Versickerung auf. Die Ursachen dafür liegen in der Parametrisierung der Siedlungsflächen im Modell TRAIN und wurden bereits bei den mittleren Jahreswerten erörtert (vgl. 167).

Bei der Jahreskurve für die *Ackerflächen* tritt das steile Ansteigen und Abfallen der Verdunstung vor bzw. nach den Monaten Juni und Juli deutlich hervor (vgl. Abbildung 7-4c). Ursache ist die Transpiration in dieser Hauptwachstumsperiode zwischen Einsaat und Ernte. Die verringerte oder zum Teil sogar fehlende Transpiration, aber auch Interzeption (Schwarzbrache), in den Monaten davor und danach ist deutlich zu erkennen. Für die Versickerung stellt sich das Bild genau andersherum dar, indem diese insbesondere nach der Ernte relativ steil ansteigt.

Beim Vergleich des Jahresverlaufs der Ackerflächen zu dem der *Grünlandflächen* fällt zum einen die verringerte Versickerung auf (vgl. Abbildung 7-4d). Dies ist insbesondere auf die ganzjährige Bodenbedeckung mit Vegetation zurückzuführen. Dementsprechend erfolgt das Maximum der Verdunstung von Grünlandflächen nach einem steilen Anstieg bereits im Mai. Außerdem ist zu erkennen, daß das Abfallen am Ende der Vegetationsperiode nicht derart extrem verläuft wie bei Ackerflächen, da hier keine völlige Aberntung der Vegetation erfolgt. Ferner kommt es dadurch insgesamt zu höheren Verdunstungswerten als bei Ackerflächen.

Der Unterschied dazu liegt indes bei den *natürlichen Grünflächen* insbesondere in der dort nochmals erhöhten Verdunstung. Diese rührt zum einen von der grundsätzlich höheren Verdunstung vor allem in den Wintermonaten her, was eine Folge der fehlenden Bewirtschaftung ist (vgl. Abbildung 7-4f). Dabei ist hervorzuheben, daß unter natürlichem Grünland in TRAIN nicht nur sog. Grasbrache, sondern auch Buschbrache verstanden wird; also Grünflächen, die ohne weitere Bewirtschaftung der Sukzession überlassen werden und über das Stadium der Verbuschung in Richtung Wald tendieren. Durch die vielfach noch offenen Stellen ist jedoch bei natürlichem Grünland eine höhere Versickerung als bei Waldflächen zu verzeichnen.

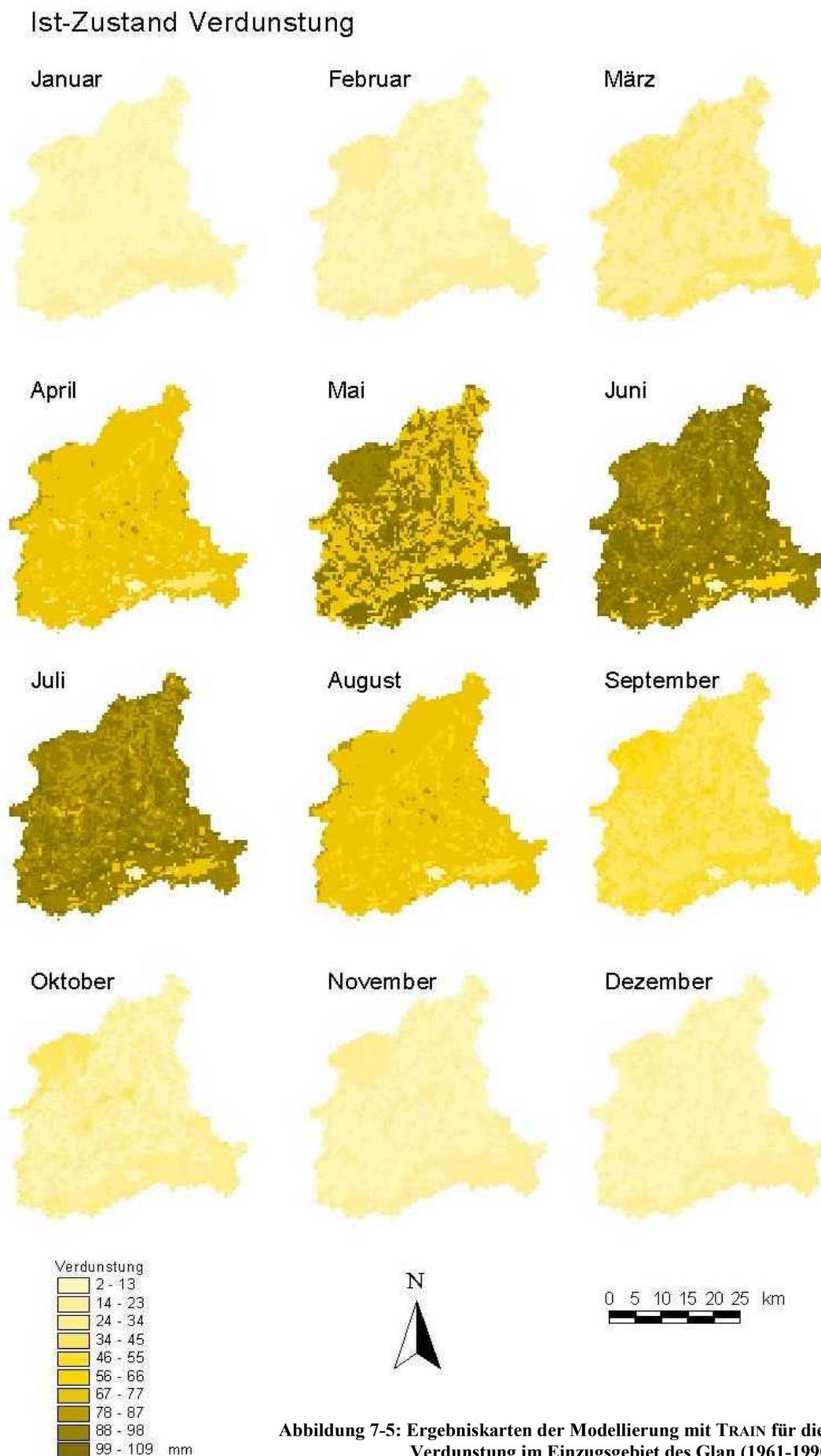
Darüber hinaus ist aus der Jahreskurve der Verdunstung und Versickerung von *Waldflächen* zu ersehen, daß sowohl die Versickerung als auch die Verdunstung unter derartigen Beständen wesentlich gemäßigter verläuft als unter anderen Landnutzungen (vgl. Abbildung 7-4e). Insbesondere in den Wintermonaten liegen die Extremwerte der Sickerung und der Verdunstung unter bzw. über denen anderer Landnutzungen (mit Ausnahme der Siedlungsflächen, die einen Sonderfall darstellen). In den Sommermonaten gewinnen dagegen die Transpiration und Interzeption der Laubbäume an Bedeutung, was zu einem ausgeprägten Verdunstungsmaximum und der entsprechend hohen mittleren Jahressumme der Verdunstung von 602 mm führt.

Räumliche Verteilung

Neben der Darstellung der Jahresverläufe der Verdunstung und der Grundwasserneubildung in Form von Diagrammen (vgl. Abbildung 7-4) ist es bei der Modellierung mit TRAIN außerdem möglich, den räumlichen Jahresverlauf in Form von Ergebniskarten zu verfolgen (vgl. Abbildung 7-5). Dabei ergeben sich Aussagen, die insbesondere für die Planung von Bedeutung sein können. So können die allgemeinen Erkenntnisse über die Auswirkungen der einzelnen Landnutzungen auf den Wasserhaushalt auf der räumlichen Ebene überprüft werden. Über die Modellierung von Szenarien kann z.B. die Effektivität von bestimmten Maßnahmen simuliert werden, so daß die Qualität der Planungsaussagen immer weiter verbessert werden kann.

In Abbildung 7-5 sind beispielhaft die Ergebniskarten der *Verdunstung* dargestellt. Deutlich zu sehen sind sowohl die Entwicklung der Verdunstung im Einzugsgebiet des Glan über das Jahr hinweg als auch der räumliche Bezug. Unter Berücksichtigung der einzelnen Landnutzungen können gezielte Planungsaussagen entwickelt werden (vgl. Abbildung 7-2 u. Kap. 8). Die erhöhte Verdunstung des Waldes spiegelt sich über das gesamte Jahr besonders im nordwestlichen sowie im südöstlichen Einzugsgebiet sowie die verringerte Verdunstung der Siedlungs- und Verkehrsflächen vor allem in der Gegend um Kaiserslautern wider.

Darüber hinaus sind die Wachstumsphasen in den einzelnen Landnutzungsklassen gut zu erkennen. In der Modellierung mit TRAIN werden z.B. beim Grünland höhenabhängige Vegetationszyklen bis zur Mahd bzw. der Beweidung angenommen, die ähnlich wie beim Ackerland einen Abfall der Bestandeshöhe und des Blattflächenindexes verzeichnen und sich auf diese Weise deutlich auf die Verdunstung auswirken.



Das Modell TRAIN gibt ebensolche Ergebniskarten für die *Versickerung* im Einzugsgebiet des Glan aus, die im Anhang 7-1 abgebildet sind. Dabei sind besonders deutlich die Landnutzungskategorien Wald, Siedlung und Verkehrsflächen zu unterscheiden. So sticht die hohe Versickerung bei den Verkehrs- und Siedlungsflächen ins Auge, da hier das Modell TRAIN keine völlige Versiegelung annimmt, die zu einem Abfluß führen würde (vgl. 167). Statt dessen weist der hier angenommene 10 cm mächtige Boden keine nennenswerte Zwischenspeicherung auf, was zu einer schnellen Weiterleitung des Niederschlages in die Tiefe und zu einem entsprechend hohen Sickerwasseraufkommen führt. Im Gegensatz dazu kommt es bei den Waldflächen durch die erhöhten Verdunstungswerte zu einer verringerten Versickerung (s.o.).

Bei Betrachtung der einzelnen *Szenarien* treten ebenfalls zum einen Veränderungen der Verdunstung und der Grundwasserneubildung sowie zum anderen die Wachstumsphasen in den einzelnen Landnutzungsklassen hervor. Die Ergebniskarten des Ist-Zustands sowie der Extremszenarien, welche die mittleren Jahressummen der Verdunstung und der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet des Glan darstellen, sind im Anhang 7-2 aufgeführt.

7.3.2 Szenarien

Die Auswirkungen der Landnutzungen, die beim Referenzzustand festgestellt worden sind (vgl. Kap. 7.3.1), können auch für die Szenarien als gültig angesehen werden. Bei der Betrachtung der Szenarien geht es vielmehr um die Frage: wie verändert sich der Wasserhaushalt, genauer die Verdunstung und die Grundwasserneubildung, im gesamten Einzugsgebiet des Glan unter veränderten Landnutzungsverteilungen? Dazu wurden die aufgestellten und modellierten Szenarien bzw. deren Ergebnisgrids (vgl. Kap. 7.2) als Grundlage in das Verdunstungsmodell TRAIN eingelesen und deren Verdunstung und Grundwasserneubildung berechnet.

Jahresmittel

Betrachtet man die Ergebnisse der mittleren Jahressummen von Verdunstung und Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet des Glan, so kann man eine eindeutige Tendenz erkennen (vgl. Abbildung 7-6). Demnach sorgen *Verstädterungstendenzen* für eine geringe Abnahme der Verdunstung sowie für eine Erhöhung der Versickerung. Hierzu ist allerdings dringend anzumerken, daß die Unterschiede äußerst minimal sind und durchaus noch im Fehlerbereich einer Modellierung liegen können. Beachten sollte man weiterhin die geringe Änderung der prozentualen Gesamtverteilungen im Einzugsgebiet in diesen Szenarien, so daß mit einer gravierenden Abnahme bzw. Steigerung auch nicht zu rechnen war.

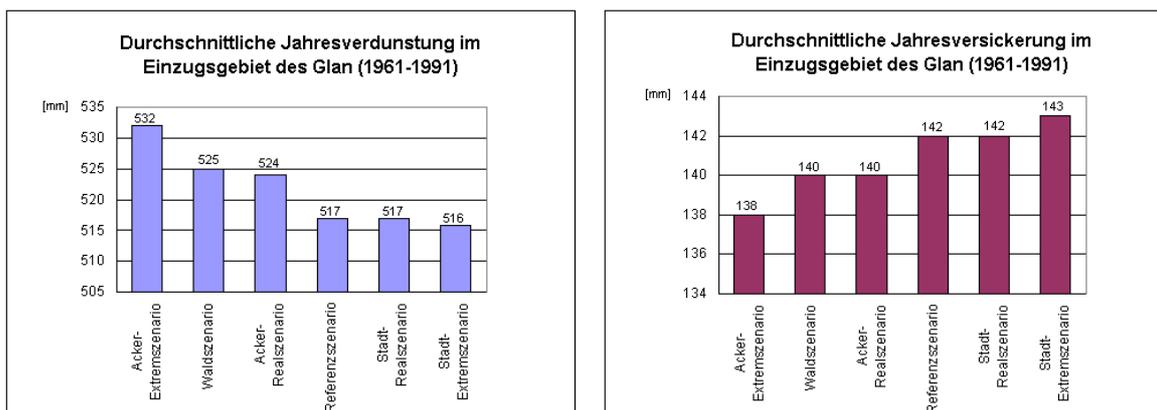


Abbildung 7-6: Mittlere Jahresverdunstung und -versickerung für die einzelnen Landnutzungsszenarien im Einzugsgebiet des Glan (1961-1990)

Bezogen auf die *Ackerszenarien* und das *Waldszenario* stellt man eine deutlichere Auswirkung fest, auch wenn diese ebenso im Fehlerbereich einer Modellierung liegen (vgl. Abbildung 7-6). So haben Aufforstungen den Effekt der Verdunstungserhöhung, während die Versickerung zurückgeht. Dies geht ferner aus den Einzeleffekten der jeweiligen Landnutzung (s.o.) logisch hervor. Parallel dazu erhöht sich die Verdunstung bei den Acker-szenarien, bei denen zum einen eine Aufforstung zum anderen aber auch die Umwandlung zu Grünland erfolgt (vgl. Abbildung 7-1).

Die Auswirkungen der Realszenarien sind folgerichtig geringer als die der Extremszenarien. Das Waldszenario liegt bezüglich der Extrema der Szenarioziele zwischen den beiden Acker-szenarien, wobei sich diese Einordnung auch in der Reihenfolge ihres Einflusses auf Verdunstung und Grundwasserneubildung widerspiegelt.

Obwohl sich die Ergebnisse im Rahmen eines Modellfehlers bewegen, kann zwar nicht die absolute Höhe, jedoch die Tendenz der Veränderungen bewertet werden. Dies ist zum einen dadurch möglich, da sich die Ergebnisse als logische Konsequenz aus den Einzeluntersuchungen des Referenzzustandes ergeben (vgl. Kap. 7.3.1). Weiter werden die Tendenzen durch Feldstudien und andere Untersuchungen bestätigt, welche unter anderem der Parametrisierung des Modells TRAIN zugrunde liegen.

Energiehaushalt

Geht man demnach von der Gültigkeit dieser Tendenzen aus, so kann man verschiedene weitergehende Analysen anstellen und/oder Hypothesen aufstellen. Dabei besteht zum Beispiel eine Möglichkeit darin, die veränderte Verdunstungsmenge in Energie umzurechnen. Ziel ist es dabei, Veränderungen im Energiehaushalt eines Einzugsgebietes wahrzunehmen, um auf unerwünschte Effekte entsprechend reagieren zu können. Insbesondere in Zeiten, in denen globale Klimaveränderungen in Verbindung mit dem sog. Treibhauseffekt

vermehrt diskutiert werden, könnten solche lokalen Ergebnisse durchaus von Bedeutung sein.

Grundlage für die Berechnung der Energiemenge ist dabei die physikalische Erkenntnis, daß zur Verdunstung von 1 kg (= 1 l) Wasser etwa $2.47 \cdot 10^6$ Joule Energie benötigt werden. Ferner gelten die Beziehungen⁵:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s} \quad \text{bzw.} \quad 1 \text{ W} = 1 \text{ J} / \text{s} \quad \text{und}$$

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ l} / \text{m}^2$$

⇒ Pro mm Wasser, der verdunstet werden soll, werden $0.078 \text{ W} / \text{m}^2$ benötigt.

⇒ Pro mm Wasser, der wieder kondensiert, werden $0.078 \text{ W} / \text{m}^2$ frei.

Für das Acker-Extremszenario, das mit + 15 mm die stärkste Änderung der Verdunstung nach sich zieht, führt dies zu einer zusätzlich benötigten Energiemenge von $1.17 \text{ W} / \text{m}^2$. Bei gleichem Energieeintrag bedeutet dies, daß diese Energie den restlichen Komponenten der Energiebilanz nicht mehr zur Verfügung steht. Dies betrifft insbesondere den sensiblen Wärmestrom.

Um den Wert von $-1.17 \text{ W} / \text{m}^2$ besser einordnen zu können, soll an dieser Stelle ein Vergleich zur globalen Klimadiskussion gezogen werden. Demnach kam es seit Mitte des 19. Jahrhunderts zu einer globalen Zunahme der Netto-Einstrahlung um etwa $+2.55 \text{ W} / \text{m}^2$ vor allem als Folge eines Anstieges der Treibhausgase CO_2 , CH_4 und N_2O (vgl. IPCC 1996). Dabei entfällt alleine auf das Kohlendioxid ein Anteil von $+1.55 \text{ W} / \text{m}^2$. Insgesamt entspricht dies einer globalen Temperaturerwärmung um $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$ (ebd.).

Folgt man also dem Gedankengang noch etwas weiter, so kann man davon ausgehen, daß z.B. Aufforstungen oder Ackerstilllegungen zu einem gewissen Abpuffern von Erscheinungen des globalen Klimawandels führen könnten. Wichtig an dieser Stelle ist der Hinweis auf die unterschiedlichen Skalen des *lokalen Einzugsgebietes* des Glan im Gegensatz zu *globalen Klimaveränderungen*. Dabei ist für die Untersuchung globaler Auswirkungen von Landnutzungsänderungen auf das Klima eine getrennte Modellierung notwendig, die weder im Rahmen dieser Arbeit noch mit den genutzten Modellen bewerkstelligt werden kann.

Im allgemeinen kann jedoch davon ausgegangen werden, daß ein erhöhter Waldanteil zum einen durch die verstärkte Verdunstungsleistung für eine lokale Abkühlung sorgt. Zum anderen dient der Wald außerdem als Kohlendioxidsenke, die zu einer Verringerung des

⁵ J = Joule; W = Watt; s = Sekunde.

CO₂-Anteils in der Atmosphäre führt und auf diesem Wege den Treibhauseffekt zumindest nicht verschärft. Entscheidend für die lokale Wirkung sind ferner auftretende Windströmungen.

Jahresverläufe

Die relativ geringen Abweichungen der mittleren Jahresverdunstung und -grundwasserneubildung bei den einzelnen Szenarien lassen bereits vermuten, daß die Änderungen im Jahresverlauf ähnlich minimal sind. Abbildung 7-7 stellt einen Vergleich der mittleren Jahresverläufe beider Extremszenarien und dem Referenzszenario dar. Dabei kann insbesondere beim Stadt-Extremszenario, welches auch in der Jahressumme zu „nur“ je einem Millimeter Unterschied führt, so gut wie kein Unterschied festgestellt werden. Auch der minimal gemäßigtere Verlauf des Acker-Extremszenarios liegt im Fehlerbereich der Modellierung, weshalb eine Überinterpretation zu vermeiden ist. Dies gilt insbesondere dann, wenn man einen Bezug zur prozentualen Landnutzungsverteilung herstellt: Da sich nicht nur der Anteil der Siedlung bzw. des Ackers verändert hat, sondern jeweils drei weitere Landnutzungsklassen, ist es bei derart geringen Unterschieden äußerst riskant, eine schlüssige Ursache-Wirkungs-Beziehung zu formulieren (vgl. Abbildung 7-1).

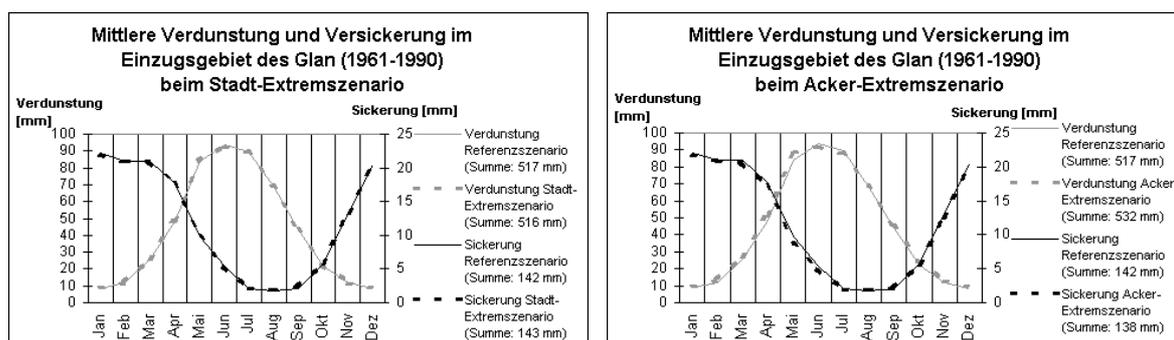


Abbildung 7-7: Mittlerer Jahresverlauf von Verdunstung und Versickerung im Einzugsgebiet des Glan (1961-1990) beim Stadt- sowie beim Acker-Extremszenario im Vergleich zum Referenzszenario

7.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte zum einen die Entwicklung von Landnutzungsszenarien, die anhand des Modells LADEMO räumlich modelliert wurden. Zum anderen wurden die Ergebnisse dieser Modellierung als Ausgangslage für die weitere Simulation der Grundwasserneubildung und der Verdunstung durch das Modell TRAIN verwendet.

Die Ergebnisse der Modellierung der Landnutzungsszenarien mit LADEMO zeigen eine deutliche räumliche Entwicklung der Landnutzungsverteilung im Einzugsgebiet des Glan (vgl. Abbildung 7-2). Zum anderen geben die unterschiedlichen Merkmale der einzelnen Landnutzungen in der Modellierung mit TRAIN durchaus charakteristische Verteilungen der Grundwasserneubildung und der Verdunstung wieder (vgl. Abbildung 7-4). Bei der

Modellierung der simulierten Landnutzungsänderungen bleibt jedoch der Einfluß auf den Wasserhaushalt insgesamt sehr begrenzt (vgl. Abbildung 7-7).

In Tabelle 7-1 werden die Einflüsse der einzelnen Landnutzungen auf die Grundwasserneubildung und Verdunstung anschaulich dargestellt. Mit Vorsicht ist hier die erhöhte Versickerungsleistung der Siedlungsflächen zu genießen, da in der aktuellen Version des Modells TRAIN weder Versiegelungsraten noch die abflußsteigernde Wirkung der Kanalisation berücksichtigt werden. Im Gegensatz dazu kommt der hydrologische Einfluß des (Misch-)Waldes sowohl bezüglich der Verdunstung als auch bezüglich der Grundwasserneubildung deutlich zum Vorschein.

Tabelle 7-1: Einfluß der einzelnen Landnutzungen auf Verdunstung und Grundwasserneubildung

Landnutzung	Verdunstung	Versickerung
Mischwald	++	–
Natürliches Grünland	++	0
Grünland	+	0
Ackerland	0	+
Siedlung	–	++

++ sehr hohe; + hohe; 0 mittlere; – geringe Verdunstung bzw. Grundwasserneubildung

Die hydrologischen Ergebnisse ergeben ansonsten ein erwartetes Abbild, da bereits in anderen Untersuchungen z.B. von RENGER/WESSOLEK (1993, 123) ähnliche Ergebnisse zu verzeichnen waren. Die Folgerungen daraus z.B. für die Landschaftsplanung werden in Kapitel 8 näher ausgeführt.

Die Ergebnisse bei der hydrologischen Modellierung der Landnutzungsszenarien liegen insgesamt im Fehlerbereich einer Modellierung⁶, so daß eine Interpretation immer nur unter Vorbehalt gültig ist. Faßt man jedoch die auftretenden Unterschiede, welche durchaus anhand der Ergebnisse der einzelnen Landnutzungen logisch zu erklären sind, als Tendenz auf, so kann man entsprechende Schlußfolgerungen ziehen. Dabei wurde im Rahmen dieser Arbeit beispielhaft der Einfluß des Acker-Extremszenarios auf den lokalen Energiehaushalt berechnet und das Ergebnis ins Verhältnis zu globalen Klimaveränderungen gesetzt. Demnach ergeben derartige Veränderungen der Landnutzungsverteilung von - 20 % Ackerland in Richtung Grünland-, Wald- und Siedlungsflächen durchaus die Möglichkeit, die lokalen Auswirkungen des globalen Klimawandels zu dämpfen (vgl. 173).

⁶ < 5 % Abweichung vom Ist-Zustand.

8 Fazit

Um einen Zusammenhang der Modellierung von Grundwasserneubildung und Verdunstung zur Landschaftsplanung herzustellen, wird zunächst näher auf die Folgerungen der Ergebnisse für das Einzugsgebiet des Glan und auf die Übertragbarkeit der Folgerungen auf andere Gebiete eingegangen. Im Anschluß daran soll diesbezüglich die Methodik der Szenarienentwicklung und der Modellierung auf ihre Anwendbarkeit in der Landschaftsplanung untersucht werden. Im Ausblick erfolgt eine Zusammenstellung der offenen Fragen und Ziele, die zum einen aus dieser Arbeit hervorgegangen sind und zum anderen bereits in Bearbeitung sind.

8.1 Folgerungen

Aus den Untersuchungen dieser Arbeit geht der Bezug der Landnutzungen zur Grundwasserneubildung und der Verdunstung deutlich hervor (vgl. Kap. 7.3). Zudem erkennt man aus der flächenhaften Modellierung aber auch, wo sich im Gebiet die Landnutzungsänderungen wie stark auf den Wasserhaushalt auswirken. Für die Planung hat dies neben der flächenhaften Quantifizierung den Vorteil, daß sie gezielte Umsetzungsschritte an den entscheidenden Stellen im Gebiet einleiten kann.

8.1.1 Aussagekraft von Modellierungen

Neben der Modellierung an sich stellen die Interpretation der Ergebnisse und die Folgerungen daraus die Schritte dar, die für die Umsetzung in der Planungspraxis entscheidend sind. Dabei ist wichtig, daß das Ergebnis nicht mehr liefern kann als der Detaillierungsgrad und die Genauigkeit der Datensätze und der Modellierungskomponenten zuläßt (vgl. Kap. 6.1). Eine Überinterpretation der Ergebnisse aufgrund der „seriösen“ und „mathematisch exakten“ Modelle ist unbedingt zu vermeiden. Ferner muß man bedenken, daß Modelle als Abbild der Wirklichkeit immer abstrahieren, d.h. daß kein korrektes Bild der Realität wiedergegeben wird. Dies kann unter Umständen auch fehlerhafte Bezüge innerhalb des Modells beinhalten, die anhand der Ergebnisse erst korrigiert werden müssen. Zu beachten ist dabei immer die Problemstellung, aufgrund derer die Modellierung erfolgt ist. Im Rahmen dieser Arbeit sind dies Bezüge zum einen zwischen Landnutzung und deren räumlicher Verteilung sowie zum anderen zwischen Landnutzung und Wasserhaushalt, die in das Modell TRAIN in Form von Parametrisierung, aber auch von modellinternen Prozessen und Abhängigkeiten eingehen (vgl. Kap. 6).

Im Einzugsgebiet des Glan kann man feststellen, daß die Auswirkungen der einzelnen Landnutzungen deutlich zu erkennen sind (vgl. Kap. 7.3). Dabei haben allerdings einzelne Maßnahmen für sich nur geringe Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung und die Verdunstung. Erst mehrere Maßnahmen zusammen führen durch Überlagerung der Effekte zu Veränderungen in der Wasserbilanz (vgl. Abbildung 7-5).

Je nach Planungsziel führt diese Erkenntnis zu unterschiedlichen Konzepten, da sowohl die Einzelmaßnahmen als auch die Kombinationen auf das jeweilige Ziel abgestimmt sein müssen. Insofern kann man die Ergebnisse auf vielfältige Weise verwerten. So kann beispielsweise das Ziel einer Erhöhung der Verdunstung zum einen durch Aufforstung aber zum anderen auch durch Umwandlung von Acker- in natürliche und/oder bewirtschaftete Grünlandflächen sowie durch eine Kombination aus beidem erreicht werden. Die Simulation wird hier zur Entscheidungsfindung als sog. *Decision Support System* eingesetzt.

8.1.2 Planungsziele

Je nach Planungsbehörde sind in der Regel mehrere Planungsziele denkbar. So setzt das Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau andere Prioritäten als beispielsweise das Ministerium für Umwelt und Forsten etc.. Für das Einzugsgebiet des Glan sollen daher zwei mögliche Planungsziele beispielhaft herausgegriffen werden und nach den Konsequenzen, die aus dieser Arbeit hervorgehen, untersucht werden. Die Planungsziele sind dabei völlig unabhängig von den entwickelten Szenarien in Kapitel 5, da diese eine potentielle Entwicklung des Gebietes auf der Grundlage vieler Komponenten und nicht nur aufgrund der Planung darstellen (vgl. Kap. 5). Planungsziele dienen zwar dazu, eine Entwicklung zu induzieren, die tatsächlich stattfindende Entwicklung der Region verläuft jedoch meist komplexer. Planungsziele können dabei auch Grundlage einer Modellierung z.B. mit LADEMO und TRAIN sein. Im Rahmen dieser Arbeit ist diese Rückkopplung jedoch nicht möglich.

Neben den Landnutzungen, die bezüglich der Planungsziele eine Änderung erfahren würden, werden anschließend auch Umsetzungshinweise gegeben. Dabei können diese ebenfalls nur beispielhaften Charakter und keinen Anspruch auf Vollständigkeit besitzen.

Ziel 1: Retention

Vorstellbar ist zum Beispiel das Ziel einer *Erhöhung der Retention* im Einzugsgebiet des Glan. Dabei liegt der Sinn in der Rückhaltung des Wassers in der Landschaft, um einen geringeren Abfluß von Wasser und Stoffen zu erreichen (Hochwasserschutz). Letzteres umfaßt zudem sowohl den Rückhalt von Boden (Erosionsschutz) als auch den Rückhalt von Nährstoffen in der Landschaft. Unter Retention werden daher in dieser Arbeit möglichst hohe Grundwasserneubildungs- und Verdunstungsraten verstanden, wie sie mit TRAIN berechnet werden können.

Bei Aufsummierung der Verdunstungs- und Versickerungswerte der einzelnen Szenarien im Sinne dieser Definition von Retention stellt man fest, daß sich beim Acker-Extremszenario die höchste Retentionswirkung einstellt. Der Grund dafür liegt in der prozentualen Landnutzungsverteilung (vgl. Abbildung 7-1). Hier wird deutlich, daß sich insbesondere *Wald-* und *Grünlandflächen* auf Kosten von Ackerland entwickeln konnten; aber auch die *Siedlungsflächen* verzeichnen eine Zunahme. Der Bezug zu den Auswirkungen der einzel-

nen Landnutzungen auf Grundwasserneubildung und Verdunstung (vgl. Abbildung 7-3 u. Tabelle 7-1) macht den Zusammenhang deutlich. Darüber hinaus verfügt außerdem *Natürliches Grünland* über ein hohes Potential an Verdunstungsleistung.

Für die Umsetzung dieses Zieles bedeutet dies demnach die Förderung der Landnutzungen (Misch-)Wald und beider Grünlandkategorien auf Kosten von Ackerflächen sowie von Versickerungsmaßnahmen in Siedlungsbereichen. Die Folge wären politische und planerische Schritte, wie z.B. in der Raumordnungs- und Landschaftsplanung bzw. das Herauskristallisieren von entsprechenden Förderprogrammen (vgl. 8.1.3).

Ziel 2: Klimawandel

Ein anderes Ziel könnte zum Beispiel in einem lokalen Abpuffern der Auswirkungen des globalen Klimawandels liegen, indem eine verstärkte Verdunstung überschüssige Energie verbraucht (vgl. Kap. 7.3.2 *Energiehaushalt*). Dabei ergibt sich der stärkste Effekt ebenfalls aus dem Acker-Extremszenario, was vor allem auf die Entwicklung der Landnutzung (*Misch-)Wald* zurückzuführen ist. Ferner trägt auch der erhöhte Anteil an *Grünlandflächen* zu der verstärkten Verdunstungsleistung bei, wobei außerdem *Natürliches Grünland* diese weiter steigern könnte (vgl. Abbildung 7-3 u. Tabelle 7-1).

Bei der Umsetzung dieses Ziels kommt daher in erster Linie eine Förderung der Aufforstung sowie der Stilllegung von Ackerflächen in Betracht. Dies trifft vor allem Flächen in den Auen, da hier durch die im Verhältnis feuchteren Standorte eine besonders hohe Verdunstung gewährleistet ist. Insgesamt führt dies unter Umständen zu anderen oder weiteren Umsetzungsstrategien als zu reinen Förderprogrammen oder Planungen (vgl. Kap. 8.1.3).

8.1.3 Umsetzung

In einem weiteren Schritt nach der Definition des Planungszieles und der Modellierung mit LADEMO und TRAIN muß die Umsetzung an die errungenen Erkenntnisse angepaßt werden. So können zum Beispiel Flächenstilllegungen eventuell auf einem anderen Wege besser erreicht werden als die Durchsetzung von Überschwemmungsgebieten. Je nach Ziel und Umsetzungsweg muß demnach der Planer unterschiedliche Strategien und Wege verfolgen.

Instrumentarien für die Durchsetzung der Planungsziele können auf planerischer und politischer Ebene liegen. Die wichtigsten Beispiele dafür gehen aus Tabelle 8-1 hervor.

Tabelle 8-1: Beispiele für politische und planerische Instrumentarien zur Umsetzung der Planungsziele (eigene Darstellung)

Politische Instrumentarien	Planerische Instrumentarien
<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Entwicklung von politischen Grundsätzen ⇒ Finanzpolitische Entscheidungen ⇒ Entwicklung von Entscheidungsrichtlinien ⇒ Entwicklung von Leitlinien ⇒ Gesetzgebung (Verfahren, Verbindlichkeiten, Beteiligungsregelungen, Regelungen der Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen etc.) ⇒ Entwicklung von Förderprogrammen 	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Landesentwicklungsplanung / Landschaftsprogramm ⇒ Regionalplanung / Landschaftsrahmenplanung ⇒ Flächennutzungsplanung / Landschaftsplanung ⇒ Bebauungsplanung / Grünordnungsplanung ⇒ Fachplanungen (Wasserwirtschaftliche -, Forstwirtschaftliche Rahmenplanung, Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung, Planung vernetzter Biotopsysteme etc.) ⇒ Pflege- und Entwicklungsplanung / Gewässerpflegepläne ⇒ Schutzgebietsausweisung / Ausweisung von Überschwemmungsgebieten

Einige dieser Instrumentarien dienten bereits als Grundlage für die Entwicklung der Landnutzungsszenarien, die im Rahmen dieser Arbeit für das Einzugsgebiet des Glan entwickelt wurden (vgl. Kap. 5).

Neben der Anwendung der „richtigen“ Instrumentarien können unterschiedliche Umsetzungsmaßnahmen hilfreich sein. Neben privatrechtlichen Verträgen, dem Vorkaufsrecht für Gemeinden oder der Bodenneuordnung eignet sich besonders die Kommunikation im allgemeinen dazu, Planungsziele weitestgehend und kostengünstig zu erreichen. Vor allem Maßnahmen an Gewässern und an landwirtschaftlichen Flächen, die teilweise eine Umkehrung von in der Vergangenheit geschaffenen Verhältnissen bedeuten, sind geeignet, Ängste und Befürchtungen bei den Anliegern zu wecken (vgl. GfL 1998, Z10). Daher sind vor allem in diesen Bereichen verschiedene Maßnahmen der Kommunikation notwendig:

- Frühzeitige und allgemeinverständliche Information über Ziele und Maßnahmen des Projekts (z.B. Öffentlichkeitsarbeit)
- Kooperation mit Behörden, Verbänden, Vereinen und der Bevölkerung (z.B. Arbeitskreise)
- Partizipationsformen (z.B. „Runder Tisch“, gemeinsame Konzeptentwicklung)

Für das Einzugsgebiet des Glan können je nach Planungsziel die Erkenntnisse aus den Modellierungen vielfältig und gezielt umgesetzt werden. Dabei gehen aus der Modellierung mit LADEMO mögliche räumliche Landnutzungsverteilungen hervor, die eine Grundlage für alle räumlichen Planungen darstellen können (vgl. Kap. 8.2). Aus der Simulation mit TRAIN, welche die dazugehörige Grundwasserneubildung und Verdunstung berechnet, können sowohl quantitative Ableitungen für die Planung gezogen werden, wie auch für deren räumliche Verteilung. Dies ist insbesondere bei gezielten, regionalen Maßnahmen von großer Bedeutung. Zu beachten ist dabei die räumliche Skalierung der Modellierung, an die der Maßstab der Planungsaussagen angepaßt sein muß. Im Einzugsgebiet des Glan

erfolgte diese mit einer Auflösung von 500 m. Für detailliertere bzw. kleinräumigere Planungen und / oder Analysen sind weitergehende Untersuchungen und Modellierungen mit spezialisierten Modellen notwendig.

8.2 Bewertung der Methodik für die Landschaftsplanung

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte die Anwendung verschiedener Techniken mit dem Ziel der Untersuchung des Einflusses der Landnutzung auf Grundwasserneubildung und Verdunstung. Für die Landschaftsplanung bieten diese Methoden durchaus das Potential, Fragestellungen, die Planungen in der Regel zugrunde liegen, umfassender zu analysieren als konventionelle Methoden. Dabei stellt sich jedoch die Frage, ob der entsprechende Aufwand bezüglich der Szenarientwicklung sowie der Modellierung, Verifizierung etc. gerechtfertigt ist. Entscheidend sind hier in aller Regel die Ausstattungsmöglichkeiten z.B. bezüglich Rechnerkapazität oder Personal sowie zum anderen die Anwendbarkeit des Modells z.B. auf die Fragestellung oder das Gebiet. Im folgenden werden die Methoden der Szenarientwicklung sowie der Modellierung für die Anwendbarkeit und die Nutzbarkeit in der Landschaftsplanung untersucht. Dabei wird neben allgemeinen Bemerkungen auf die konkrete Situation im Einzugsgebiet des Glan eingegangen.

8.2.1 Szenarientwicklung und -verwendung

Die Möglichkeit, Szenarien für eine Fragestellung zu entwickeln, ist zunächst einmal unabhängig von einer Modellierung. Szenarien haben dabei beschreibenden Charakter. Der Sinn liegt im Durchspielen verschiedener potentieller Möglichkeiten und der Analyse der jeweiligen Auswirkungen auf die Fragestellung (vgl. Kap. 5.1). Im Rahmen dieser Arbeit wurden Szenarien auf der Basis von Gebietseigenschaften, planerischen und politischen Vorgaben sowie von Trendanalysen und Studien zur Landnutzungsentwicklung erarbeitet (vgl. Kap. 5.2). Dieses Vorgehen ist auf jedes andere Untersuchungsgebiet uneingeschränkt übertragbar.

Die Anwendung der Szenarien ist besonders dann eine sinnvolle Möglichkeit der Planungsvorbereitung, wenn mehrere Entwicklungsalternativen zu unterschiedlichen Auswirkungen führen können. Sind diese noch nicht bekannt, können Szenarien weiterverarbeitet werden. Sie können demnach sowohl *Modellinput* als auch *-output* sein. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die entwickelten Landnutzungsszenarien zum einen räumlich modelliert (Modellinput und -output). Zum anderen wurden die Auswirkungen der Szenarien anhand der Verarbeitung in einem weiteren Modell simuliert (Modellinput; vgl. Kap. 6). Die Modelle LADEMO und TRAIN stellen dabei zwei Beispiele für eine Szenarienanwendung dar.

Die Szenariomethodik im Sinne einer Planungs- und Entscheidungsvorbereitung wird auch als sog. *Decision Support System* bezeichnet. Die Auswirkungen der Landnutzungsszena-

rien in dieser Arbeit brachten zwar keine gravierenden Unterschiede in der Grundwasserneubildung bzw. Verdunstung hervor, jedoch ist dieses Ergebnis infolge einer Methodik entstanden, die für eine entsprechende Planungsaussage eine sehr geeignete Grundlage darstellt.

8.2.2 Modellierung

Mathematische Modelle als Abbilder der Wirklichkeit basieren in der Regel auf Messungen oder Beobachtungen im Gelände. Es erfolgt damit ein laufender Vergleich mit den Aussagen des Modells, der gegebenenfalls zu Verbesserungen führt. Aufwendige und teure Meßverfahren, die bislang die Grundlage für Planungsaussagen und –entscheidungen liefern, können lediglich punktuell vorgenommen werden. Zum anderen liegen langjährige, aussagekräftige Zeitreihen selten vollständig vor. Eine modellhafte Erfassung bietet im Gegensatz dazu die Möglichkeit, flächenhafte Aussagen z.B. bezüglich der Grundwasserneubildung und der Verdunstung zu treffen. Hydrologische Modelle treffen beispielsweise Aussagen über komplexe hydrologische Systeme, indem sie die Wechselwirkungen verschiedener Teilprozesse erfassen und die daraus resultierende Gesamtwirkung quantifizieren (vgl. KÖHLER 1998, 119).

Für die Landschaftsplanung sind auf allen Ebenen flächendifferenzierte Aussagen bezüglich der Naturgüter, die von den Naturschutzgesetzen formuliert werden, erforderlich. Diese Aussagen sollen je nach Planungsmaßstab eine detaillierte Beschreibung des Naturhaushaltes enthalten sowie die darin ablaufenden Prozesse entsprechend nachzeichnen (vgl. HAPE 1995, 83). An dieser Stelle setzen flächendifferenzierte Modelle wie z.B. LADEMO und TRAIN an. Entscheidend ist dennoch die Frage nach der notwendigen und möglichen Genauigkeit der Aussagen und Berechnungen von Modellen. So besteht eine Gefahr darin, die „wissenschaftlichen“ Aussagen eines „seriösen“ Modells ohne eine kritische Betrachtung potentieller Fehlerquellen und skalierungsbedingter Einschränkungen zu übernehmen (vgl. Kap. 6.1). Wichtig für die Anwendbarkeit in der Landschaftsplanung ist ferner, daß der Aufwand bei der Beschaffung und der digitalen Übernahme der Datensätze sowie deren Verarbeitung in einem ausgewogenem Verhältnis zum Informationsgewinn steht. Die geeignete Methodik hängt demnach nicht nur von der Aufgabenstellung, sondern außerdem von der Datengrundlage und den personellen und finanziellen Ressourcen ab (vgl. DIESTEL 1994, 33). Ökologische und planerische Fragestellungen können mitunter sehr komplex sein, so daß dementsprechende Modellierungen durch spezielle Institutionen durchgeführt werden müssen.

Die räumliche Entwicklung der Landnutzung ist ein Beispiel für eine Grundlagensimulation innerhalb der Landschaftsplanung. Dabei bezieht sich *Grundlage* auf die Landnutzung als Planungskriterium und nicht auf die Verfügbarkeit von Modellen. Im Rahmen dieser Arbeit hat sich gezeigt, daß das Modell LADEMO ein einfach zu bedienendes Werkzeug darstellt, mit dem eine räumliche Entwicklung von Landnutzungsszenarien simuliert

werden kann. Eine Verwendung wird bereits in mehreren Forschungsprojekten (z.B. EUROTAS) erprobt und kontinuierlich verbessert. Das Modell LADEMO ist auf jede Gebietsgröße übertragbar, wenn räumliche, digitale Daten über die Landnutzung (z.B. CORINE-Landnutzungskartierung) vorhanden sind.

Die räumlich verteilte Landnutzung als Grundlage für die Landschaftsplanung anzuwenden, liegt auf der Hand, während die Aussagekraft einer flächendeckenden Quantifizierung der Grundwasserneubildung und Verdunstung näher erläutert werden sollte. Diese wichtigen Komponenten des Natur- und Wasserhaushaltes stellen z.B. eine Grundlage für die Steuerung der Durchfluß- und Nutzungsprozesse in Flußgebieten dar (vgl. DYCK/ PESCHKE 1995, 519 u. 525). Dazu zählen die Planung einer rationellen, flächenbezogenen Bewirtschaftung der Wasserressourcen, die wichtige Aussagen z.B. für die Wasserverfügbarkeit für die Landwirtschaft oder für Maßnahmen der Energie- und Bauwirtschaft sowie des Verkehrswesens trifft. Eine flächendifferenzierte Modellierung der Grundwasserneubildung und der Verdunstung bildet daher eine Entscheidungsgrundlage bei der Ausarbeitung von planerischen Flächennutzungskonzepten wie einer fachlichen Naturschutz- oder Agrarplanung sowie bei Bodenordnungen (vgl. HAPE 1995, 83). Darüber hinaus kann anhand einer solchen Simulation eine Prüfung der hydrologischen Relevanz konkreter Vorhaben wie von wasserwirtschaftlichen Bauwerken überprüft werden. Auf diese Weise können z.B. Aussagen hinsichtlich des derzeitigen bzw. zukünftigen Retentionspotentials einer Landschaft bzw. eines Landschaftsausschnittes sowie hinsichtlich der Wassergütebewirtschaftung getroffen werden. Auch eine Interpretation hinsichtlich des Energiehaushaltes ist möglich (vgl. Kap. 7.3.2).

Ein entscheidender Vorteil der Modellierung besteht in der Möglichkeit, verschiedene Auswirkungen von Landnutzungsänderungen z.B. in Form von Szenarien durchzuspielen. Ausgehend von einem bestimmten Zustand (z.B. dem Ist-Zustand) kann über die Änderung einzelner Größen des betrachteten Systems (z.B. der Landnutzung) die Auswirkung auf das gesamte System (z.B. Grundwasserneubildung und Verdunstung) simuliert werden (vgl. KÖHLER 1998, 119). Entsprechende Ergebnisse erlauben Folgerungen und Reaktionsmöglichkeiten auf der politisch-administrativen Ebene des Landes (vgl. Kap. 8.1).

8.3 Ausblick

„No study is ever finished“ (VEENEKLAAS 1994, 117). In diesem Sinne soll eine Zusammenstellung der Punkte erfolgen, die zum einen mehr Aufmerksamkeit verdient hätten, jedoch im Rahmen einer Diplomarbeit nicht geleistet werden können. Zum anderen ergeben sich im Verlauf einer solchen Arbeit laufend weitere interessante Fragestellungen oder Verbesserungsmöglichkeiten, die an dieser Stelle zusammengetragen werden sollen.

Die Entwicklung der Landnutzungsszenarien in Kapitel 5 erfolgte beispielhaft auf diversen Grundlagen. Der Ausbau von Szenarien ist immer möglich. Neben wirtschaftlichen und sozio-ökonomischen Analysen können zum Beispiel auch Klimaveränderungen berücksichtigt werden. Letztere können insbesondere im landwirtschaftlichen Bereich großen Einfluß auf die Landnutzungsverteilung ausüben. Ein Klimamodell könnte z.B. auch als Grundlage für die Modellierung der Grundwasserneubildung und der Verdunstung mit TRAIN darstellen. Ferner könnten die Konsequenzen der Alternativen näher betrachtet werden. Szenarien bieten in Kombination mit Modellen die Möglichkeit, deren Ergebnisse im Hinblick auf die Planungsaussagen als Rückkopplung für nachfolgende Szenarien zu benutzen. Dies bedeutet weiter, daß die Ergebnisse die Grundlage für eine Optimierung der Szenarien liefern können.

Die Modelle LADEMO und TRAIN sind bereits in den Kapiteln 6.2.6 bzw. 6.3.6 bewertet worden. An dieser Stelle sollen die Entwicklungspotentiale daher nur angerissen werden. Für das Modell LADEMO bestehen diese in erster Linie in der Einbeziehung der ökonomischen Randbedingungen und Bewirtschaftungsweisen für Landnutzungsänderungen. Es wird empfohlen, die Landnutzungsklassen weiter zu unterteilen. Dies trifft zum einen die einzelnen Waldarten (Laub-, Misch- und Nadelwald) sowie zum anderen die ackerbau-lichen Hauptanbaufrüchte (Getreide, Hackfrüchte etc.), da hiervon hohe Einflüsse für verschiedene Fragestellungen wie zum Beispiel bezüglich des Wasserhaushaltes ausgehen.

Für das Modell TRAIN ist bereits die Verbesserung der Parametrisierung der einzelnen Landnutzungen geplant. Vor allem bei den Landnutzungen Siedlungs- und Verkehrsfläche soll eine Unterteilung der einzelnen Pixel in versiegelte und unversiegelte Anteile erfolgen. Neben der Infiltrationsrate in den Boden sollen diese außerdem den Abfluß durch die Kanalisation berücksichtigen. Eine weitere Differenzierung der Landnutzungsklassen Acker- und Grünland in einzelne Hauptanbaufrüchte sowie in Intensivierungsgrade ist sinnvoll, da der Einfluß auf den Wasserhaushalt unverkennbar ist.

Für planerische Fragestellungen sind die horizontalen Beziehungen zwischen den einzelnen Pixeln insbesondere bei Hangneigungen von großer Bedeutung. Ziel ist es daher, das Modell TRAIN um die Möglichkeit einer flächendifferenzierten Simulation der Abflußkomponenten zu erweitern und auf diese Weise langfristig zu einem bilanzreinen Wasserhaushaltsmodell zu kommen. Eine benutzerfreundliche Oberfläche wie sie bei dem Modell LADEMO vorhanden ist, könnte für einen breiteren Einsatz in der Planung von Vorteil sein.

Insgesamt haben die Modellierungen im Rahmen dieser Arbeit gezeigt, daß sich diese Methodik wie auch die der Entwicklung von Szenarien als sinnvoll und geeignet für die Landschaftsplanung erweisen. Insbesondere die Kombination aus Szenarien und Simulation sollte zur Entscheidungsfindung herangezogen werden. Als Grundlage für Planungsentscheidungen ist es damit möglich, verschiedenste Parameter zusammen zu berücksichtigen und die Entscheidung nicht nur auf einzelnen Grundsteinen aufzubauen.

9 Zusammenfassung

Um den *Einfluß der Landnutzung auf Verdunstung und Grundwasserneubildung* festzustellen, wurde neben der Methodik der Szenarienentwicklung auf die Methodik der räumlich differenzierten Simulationsmodellierung zurückgegriffen. Es sollte untersucht werden, ob mit Hilfe dieser Methoden Auswirkungen der Raum- und Landschaftsplanung abgeschätzt werden können. Die Frage war also, ob diese modernen Simulationstechniken als sog. *Decision Support System* der Entscheidungsfindung dienen können.

Zunächst erfolgte die Entwicklung von Landnutzungsszenarien beispielhaft für ein konkretes Einzugsgebiet, den Glan in Rheinland-Pfalz. Die einzelnen Szenarien wurden aus Gebietscharakteristika, bestehenden planerischen und politischen Rahmenbedingungen sowie Entwicklungstendenzen entwickelt. Das Untersuchungsgebiet ist ländlich geprägt, wobei sich sowohl das Relief der Mittelgebirge als auch die Bodenverhältnisse nachteilig auf die landwirtschaftliche Nutzung auswirken. So hat das Gebiet besonders im Norden mit Abwanderung zu kämpfen, während sich der städtische Raum um Kaiserslautern immer weiter ausdehnt. Trotz der in Europa bestehenden deutlichen Anreize für eine flächendeckende Bewirtschaftung geht die Entwicklung der Landnutzungen im allgemeinen von natürlichem Grünland in Richtung Siedlungs- oder Waldflächen. Im Untersuchungsgebiet kann man darüber hinaus eine verstärkte Umwandlung von Acker- zu Grünland beobachten.

Die Zusammenführung dieser Grundlagen führte zu fünf Szenarien für die Landnutzungs-klassen Siedlung, Ackerland und Wald. Zur Verdeutlichung der hydrologischen Auswirkungen wurden für die Klassen Siedlung und Ackerland zusätzlich zu den als realistisch eingestuften Landnutzungsszenarien auch Extremszenarien entwickelt. Da davon ausgegangen wurde, daß sich weder die Tendenzen der Vergangenheit noch die politischen Rahmenbedingungen ändern, sind die Szenarien von einer grundsätzlichen Expansion der Landnutzungs-klassen Siedlung und Wald sowie einer Reduktion von Ackerland geprägt.

Um den Einfluß der Landnutzung auf Grundwasserneubildung und Verdunstung korrekt bestimmen zu können, wurde die räumliche Verteilung der Landnutzungsänderungen anhand des *Land use change DEvelopment MOdel's* (LADEMO) simuliert. LADEMO schaffte dabei die Synthese aus Gesamtbewertung der einzelnen Parameter, aktueller Landnutzung und benutzerbezogenen Zielvorgaben. Die Ergebnisse der Modellierung zeigen eine deutliche räumliche Entwicklung der Landnutzungsverteilung im Untersuchungsgebiet. So kam es insbesondere in den Überschwemmungsbereichen und den Hanglagen zur Umwandlung von Acker- in Grünland- oder Waldflächen, während es entlang von bestimmten Entwicklungsachsen wie Hauptverkehrsstraßen zu einer Ausbreitung von Siedlungsflächen kam. Die Simulation lieferte demnach den groben Überblick, den Entscheidungsträger als Einschätzungshilfe für grundlegende Beschlüsse benötigen.

Die flächendifferenzierte Berechnung der Grundwasserneubildung und Verdunstung wurde anschließend mit dem Verdunstungsmodell TRAIN durchgeführt. Die zugrunde gelegte Parametrisierung der Landnutzungen ist für die Interpretation der Ergebnisse entscheidend. Sie besteht sowohl aus zeitlich variablen als auch höhenabhängigen Parametersätzen.

Aus den Ergebnissen der Modellierung war es möglich, Rückschlüsse auf den hydrologischen Einfluß der einzelnen Landnutzungen sowie der Szenarien zu ziehen, was wiederum die Basis für unterschiedliche räumliche Planungen darstellt. Dabei gaben die unterschiedlichen Merkmale der einzelnen Landnutzungen sowohl im Jahresmittel als auch im Jahresverlauf charakteristische Verteilungen der Grundwasserneubildung und der Verdunstung wieder. So erfolgte z.B. unter Wald eine relativ hohe Verdunstung, während unter Siedlung diese verhältnismäßig niedrig ausfiel. Im Gegenzug kam es unter Wald zu einer geringeren Grundwasserneubildung als unter Siedlung. Letzteres ist darauf zurückzuführen, daß momentan im Modell TRAIN weder Versiegelungsraten noch die abflußsteigernde Wirkung der Kanalisation berücksichtigt werden.

Bei der Modellierung der simulierten Landnutzungsszenarien blieb der Einfluß auf den Wasserhaushalt des Einzugsgebietes insgesamt sehr begrenzt. So beträgt der Unterschied zwischen den beiden Extremen (Ackerextrem- und Stadtextremszenario) im Jahresmittel „nur“ 16 mm bei der Verdunstung¹ und 5 mm bei der Grundwasserneubildung², was mit unter 5 % Abweichung vom Ist-Zustand im Fehlerbereich einer Modellierung liegt. Die auftretenden Unterschiede sind anhand der Ergebnisse der einzelnen Landnutzungen durchaus logisch zu erklären und können daher dennoch als Tendenz aufgefaßt werden und zu entsprechenden Schlußfolgerungen führen. Beispielhaft wurde für das Ackerextremszenario der Einfluß auf den lokalen Energiehaushalt berechnet. Demnach würde die erhöhte Verdunstungsleistung eine zusätzliche Energiemenge von 1.17 W / m² benötigen und so unter Berücksichtigung von diversen Windströmungen zu einer lokalen Abkühlung führen.

Auf der Grundlage dieser hydrologischen Analyse wurden ferner Schlußfolgerungen für das Untersuchungsgebiet und deren Übertragbarkeit auf andere Gebiete sowie die Anwendbarkeit der Methodik für die Landschaftsplanung gezogen. Die flächendifferenzierte Modellierung sorgte demnach dafür, daß planende Institutionen und Behörden gezielte Umsetzungsschritte an den entscheidenden Stellen im Gebiet einleiten können. Dabei ist die Anwendung von Szenarien besonders dann eine sinnvolle Möglichkeit der Planungsvorbereitung, wenn mehrere Entwicklungsalternativen zu unterschiedlichen Auswirkungen führen können und Szenarien als sog. *Decision Support System* herangezogen werden. Besonders bei einer Modellierung ist jedoch der Aufwand bei der Beschaffung, der digitalen Übernahme der Datensätze und deren Verarbeitung sowie die personellen und finanziellen Ressourcen zu beachten.

Insgesamt haben die Modellierungen dieser Arbeit gezeigt, daß sich diese Methoden als sinnvoll und geeignet für die Landschaftsplanung erweisen. Insbesondere die Kombination aus Szenarien und Simulation sollte zur Entscheidungsfindung herangezogen werden.

¹ Ist-Zustand (Verdunstung): 517 mm

² Ist-Zustand (Grundwasserneubildung): 142 mm

10 Quellen

10.1 Literatur

- AG Boden – Arbeitsgruppe Boden der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe der Bundesrepublik Deutschland (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung; E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- BAUER, CHRISTIAN; 1999: Bewertung von Maßnahmen der Landnutzungsänderung und Renaturierung am Beispiel eines Mittelgebirgsgewässers mit einem Wasserhaushaltsmodell – Diplomarbeit an der Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft bei Prof. Dr. Ing. G. Koehler, Kaiserslautern.
- BAUMGARTNER, ALBERT; LIEBSCHER HANS-JÜRGEN; 1990: Lehrbuch der Hydrologie – Band 1: Allgemeine Hydrologie – Quantitative Hydrologie; Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- BMELF – BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (Hrsg.); 1996: Zur Neuorientierung der Landnutzung in Deutschland; Schriftenreihe des BML, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 453.
- BMU – Bundesumweltministerium (Hrsg.); 1999: Umwelt Nr. 5/1999; Berlin.
- BOSEL, HARTMUT; 1989: Simulation dynamischer Systeme; Vieweg-Verlag, Braunschweig.
- BROCKHAUS, F. A.; 1980: Der große Brockhaus – in zwölf Bänden; Jubiläumsausgabe; Wiesbaden.
- BRONSTERT, AXEL (Hrsg.); 1996: Hochwasser in Deutschland unter Aspekten globaler Veränderungen – Bericht über das DFG-Rundgespräch am 9. Oktober 1995 in Potsdam, PIK Report No. 17, Potsdam.
- BRONSTERT, AXEL; BISMUTH, CHRISTINE; MENZEL, LUCAS (Hrsg.); 2000: ; European Conference on Advances in Flood Research; November 1-3, 2000, Potsdam; Proceedings Vol. 1 und 2; PIK Report No. 65, Potsdam.
- BRONSTERT, AXEL; FRITSCH, UTA; KATZENMAIER, DANIEL; 1999: Quantifizierung des Einflusses der Landnutzung und –bedeckung auf den Hochwasserabfluß in Flußgebieten unter Berücksichtigung der aktuellen Bodenbearbeitung, des Zustandes der Vegetationsdecke und von möglichen Klimaänderungen – Zwischenbericht des UBA-Projekts FKZ 297 24 508, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V., Potsdam. Veröffentlicht im Internet als PDF-Datei, URL: <http://www.PIK-Potsdam.DE/mantle/lahor/ergebnis1.htm> [Stand: 15.9.1999].
- DABBERT, STEPHAN; HERRMANN, SYLVIA; KAULE, GISELHER; SOMMER, MICHAEL (Hrsg.); 1999: Landschaftsmodellierung für die Umweltplanung – Methodik, Anwendung und Übertragbarkeit am Beispiel von Agrarlandschaften; Springer, Berlin u.a..

- DFG – DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT; 1987: Anthropogene Einflüsse auf den lokalen und regionalen Bodenwasserhaushalt; Ergebnisse aus dem Schwerpunktprogramm „Anthropogene Einflüsse auf hydraulische Prozesse“; VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim.
- DIESTEL, HEIKO; 1994: Abschätzung von Niederschlag-Abfluß-Beziehungen als Grundlage für Schutz- und Entwicklungskonzepte.
IN: Mitteilungen aus der Norddeutschen Naturschutzakademie, 4/1994, 33-38.
- DIESTEL, HEIKO; HAPE, MARTINA; HECKER, JENS-MARTIN; 1998: A Conceptual Framework for Planning and Implementing Water and Soil Conservation Projects.
IN: Advances in GeoEcology, 31, 73-78.
- DYCK, SIEGFRIED; PESCHKE, GERD; 1995: Grundlagen der Hydrologie; Verlag für Bauwesen, Berlin.
- EIMERN, JOSEF VAN; HÄCKEL, HANS; 1984: Wetter- und Klimakunde; Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- ELLENBERG, HEINZ; 1996: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen; Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- FISCHER, HEINZ; 1989: Rheinland-Pfalz und Saarland – eine geographische Landeskunde; Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- FRIELINGHAUS, MONIKA (Hrsg.); 1997: Merkblätter zur Bodenerosion in Brandenburg; ZALF-Bericht Nr. 27, Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung, Müncheberg.
- FRICTSCH, UTA; KATZENMAIER, DANIEL; MENZEL, LUCAS; 1999: Land use scenarios for flood risk assessment studies;
IN: Musy, A.; Pereira, L.S.; Fritsch, M. (Hrsg.); 1999.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg.); 1999a: Agenda 2000 – Stärkung und Erweiterung der Europäischen Union; Brüssel.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION – GENERALDIREKTION LANDWIRTSCHAFT; 1999b: Reform der GAP: Entwicklung des ländlichen Raums; Brüssel.
- GELLERMANN, M.; MIDDEKE, A.; 1991: Der Vertragsnaturschutz – Tatsächliche Gestaltung und rechtliche Grenzen;
IN: Natur + Recht (NuR), Heft 10/1991, S. 457-465.
- GfL – PLANUNGS- UND INGENIEURGESELLSCHAFT GMBH; 1998: Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung Lauterecken (AEP); im Auftrag der Bezirksregierung Rheinhessen-Pfalz, Koblenz.
- GICK, WOLFGANG (Hrsg.); 1996: Die zukünftige Ausgestaltung der Regionalpolitik der EU; Hanns-Seidel-Stiftung, München.

- HAPE, MARTINA; 1995: Die Quantifizierung der Grundwasserneubildung in der Landschaftsrahmenplanung – Exemplarische Bearbeitung mit Hilfe von Geo-Informationssystemen für den Landkreis Wittenberg; Diplomarbeit an der Technischen Universität Berlin, Fachgebiet Wasserhaushalt und Kulturtechnik, Institut für Landschaftsentwicklung, eingereicht bei Prof. Heiko Diestel und bei Dipl. Geoökologe Markus Erhard, PIK-Potsdam, Berlin.
- HENNINGSEN, DIERK; KATZUNG, GERHARD; 1998: Einführung in die Geologie Deutschlands; Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE; HOUGHTON ET AL. (Hrsg.); 1996: Climate Change 1995 – The Science of Climate Change; The second assessment report of the IPCC: Contributions of working group I; Cambridge University Press.
- ISB – INVESTITIONS- UND STRUKTURBANK RHEINLAND-PFALZ GMBH (Hrsg.); 1999a: Förderprogramme für die rheinland-pfälzische Wirtschaft, Mainz.
- ISB – INVESTITIONS- UND STRUKTURBANK RHEINLAND-PFALZ GMBH (Hrsg.); 1999b: Förderprogramme, Mainz.
- KAULE, G.; 1991: Arten- und Biotopschutz; Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- KENNEWEG, HARTMUT; WECKWERTH, HELMUT; 1994: Einführung in die Theorie und Methodik der Landschaftsplanung – Skript zur Lehrveranstaltung, Technische Universität Berlin, Berlin.
- KÖHLER, BETTINA; 1998: Simulation des Einflusses von Landnutzungen und Klimaänderungen auf Hochwasserereignisse in einem kleinen Einzugsgebiet im Harz mit Hilfe des Wasserhaushaltsmodells BROOK; Diplomarbeit an der Technischen Universität Berlin, Fachgebiet Wasserhaushalt und Kulturtechnik, Institut für Landschaftsentwicklung, eingereicht bei Prof. Heiko Diestel und Dr. Axel Bronstert, PIK-Potsdam, Berlin.
- KRAUSE, STEFAN; 1999: Bereitstellung von Flächendaten bezüglich der Wandlungseignung aktuell agrarisch genutzter Flächen hin zu nichtagrarischen Landnutzungsformen; Praktikumsbericht (unveröffentlicht), PIK-Potsdam.
- KS/SafWA – KULTURAMT SIMMERN/STAATLICHES AMT FÜR WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFT KOBLENZ; o.J.: Naheprogramm, Faltblatt.
- KUNTZE, HERBERT; ROESCHMANN, GÜNTER; SCHWERDTFEGER; 1994: Bodenkunde; Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- LESER, HARTMUT; 1991: Landschaftsökologie: Ansatz, Modelle, Methodik, Anwendung; UTB 521; Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- LfW – LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.); 1989: Grundwasserbeschaffenheit, Mainz.
- LfW – LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.); 1991: Landnutzung und Wasserwirtschaft, Mainz.

- LfW – LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ; 1997: Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch – Rheingebiet Teil III.
- LfW – LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ; 1999: Karte Ombrometermeßnetz Rheinland-Pfalz, Mainz.
- LEP III – Landesentwicklungsprogramm Rheinland-Pfalz, III. Fortschreibung; 1995.
- LANDESVERMESSUNGSAMT RHEINLAND-PFALZ / LANDESAMT FÜR KATASTER-, VERMESSUNGS- UND KARTENWESEN RHEINLAND-PFALZ; 1998: CD-ROM Rheinland-Pfalz und Saarland in digitalen Karten, Koblenz/Saarbrücken.
- LANDESVERMESSUNGSAMT RHEINLAND-PFALZ; 1997: Kartenverzeichnis, Koblenz.
- LANDTAG RLP; 1998: Bericht der Landesregierung über die regionale Situation der Landwirtschaft und des Weinbaus in Rheinland-Pfalz 1998; Drucksache 13/3811 zu Drucksache 11/3099.
- LANDTAG RLP; 1999: Bericht der Landesregierung über die regionale Situation der Landwirtschaft und des Weinbaus in Rheinland-Pfalz 1999; Drucksache 13/4273 zu Drucksache 11/3099.
- LESER, HARTMUT; KLINK, HANS-JÜRGEN (Hrsg.); 1988: Handbuch und Kartieranleitung Geoökologische Karte 1:25 000 (KA GÖK 25); Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 228; Zentrallausschuß für deutsche Landeskunde, Selbstverlag, Trier.
- MARKARD, CHRISTIANE; IRMER, ULRICH; RECHENBERG, JÖRG; 1999: Die neue Wasser-rahmenrichtlinie; Umweltbundesamt, Berlin;
IN: WWT AWT – Wasserwirtschaft, Wassertechnik, Abwassertechnik; 8/99; 32-34.
- MARKS, ROBERT; MÜLLER, MANFRED J.; LESER, HARTMUT; KLINK, HANS-JÜRGEN (Hrsg.); 1992: Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL); Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 229; Zentrallausschuß für deutsche Landeskunde, Selbstverlag, Trier.
- MENZEL, LUCAS; 1989: Wasserhaushaltsstudien im Einzugsgebiet der Thur (Ostschweiz) – Analyse hydrologischer Feldmessungen 1976 – 1985; Diplomarbeit an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Physische Geographie, eingereicht bei Prof. Dr. Herbert Lang und Prof. Dr. Heidulf E. Müller, angefertigt an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (Schweiz), Geographisches Institut, Abteilung Hydrologie.
- MENZEL, LUCAS; 1997: Modellierung der Evapotranspiration im System Boden-Pflanze-Atmosphäre; Zürcher Geographische Schriften, Nr. 67; Geographisches Institut ETH, Zürich.
- MENZEL, LUCAS; 1999a: Flächenhafte Modellierung der Evapotranspiration mit TRAIN, PIK Report No. 54, Potsdam.

- MENZEL, LUCAS; 1999b: Technical details for the derivation of a valuation grid using ArcView; Entwurf; Potsdam 1999, unveröffentlicht.
- MENZEL, LUCAS; 1999c: Task 9 – Landuse change scenarios – Contributions to T10 meeting, 12.-14. October 1999 in Wallingford, unveröffentlicht.
- MENZEL, LUCAS; 2000: Land Use Scenario Extension – Documentation and User Guide; Potsdam, unveröffentlicht.
- MENZEL, LUCAS; BLONGEWICZ, MICHAEL; 2000: LADEMO – A user supported model for the development of land use scenarios; European Conference on Advances in Flood Research, November 1-3, 2000, Potsdam.
IN: Bronstert, Axel; Bismuth, Christine; Menzel, Lucas (Hrsg.); 2000.
- MENZEL, LUCAS; FRITSCH, UTA; KATZENMAIER, DANIEL; 1999: Land use scenario for risk analysis evaluation – Poster für die jährliche Konferenz der European Geophysical Society (EGS) in Den Haag.
- MEYERS LEXIKON; 1993: Das Wissen A-Z; Mannheim.
- MfUF – MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN RHEINLAND-PFALZ; 1997: Aktion Blau – Gewässerentwicklung in Rheinland-Pfalz – Heft 1; Mainz.
- MfUF – MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN RHEINLAND-PFALZ; 1999: Aktion Blau – Gewässerentwicklung in Rheinland-Pfalz – Bilanz und Ausblicke 1999; Mainz.
- MfUF/MfWVLW – MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN RHEINLAND-PFALZ/
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, VERKEHR, LANDWIRTSCHAFT UND WEINBAU
RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.); 1999: Das Naheprogramm – Bilanz 1994-1999; Mainz.
- MfWVLW – MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, VERKEHR, LANDWIRTSCHAFT UND WEINBAU
RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.); 1998: Bilanz der Wirtschafts- und Agrarförderung 1992 –
1997, Mainz.
- MfWVLW – MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, VERKEHR, LANDWIRTSCHAFT UND WEINBAU
RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.); 1997: Leitlinien Ländliche Bodenordnung in Rheinland-
Pfalz; Mainz.
- MIS – MINISTERIUM DES INNERN UND FÜR SPORT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.); 1998: Raum-
ordnungsbericht 1998 der Landesregierung Rheinland-Pfalz, Mainz.
- MfLWU – MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, WEINBAU UND UMWELTSCHUTZ RHEIN-
LAND-PFALZ, ABTEILUNG WASSERWESEN; 1976: Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan
Nahe, Erläuterungsbericht.
- MfUF/LfUG – MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN RHEINLAND-PFALZ, LANDESAMT
FÜR UMWELTSCHUTZ UND GEWERBEAUF SICHT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.); 1995:
Planung Vernetzter Biotopsysteme – Bereich Landkreis Kusel; Bearb.: Landesamt für
Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz & Faunistisch-Ökologische
Arbeitsgemeinschaft, Oppenheim.

- MfUF/LfUG – MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN RHEINLAND-PFALZ, LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ UND GEWERBEAUF SICHT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.); 1997: Planung Vernetzter Biotopsysteme – Bereiche Landkreis Kaiserslautern und Stadt Kaiserslautern; Bearb.: Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz & Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft, Oppenheim.
- MUSY, A.; PEREIRA, L.S.; FRITSCH, M. (Hrsg.); 1999: Emerging technologies for sustainable land use and water. Proceedings of the 2nd Inter-Regional Conference on Environment-Water, September 1-3, 1999; Lausanne, Schweiz.
- NENTWIG, WOLFGANG; 1995: Humanökologie – Fakten, Argumente, Ausblicke; Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- O'CALLAGHAN, J.R.; 1996: Land Use – The interaction of economics, ecology and hydrology; Centre for Land Use and Water Resources Research, University of Newcastle; Chapman & Hall; London, UK.
- PGW – PLANUNGSGEMEINSCHAFT WESTPFALZ; 1990: Regionaler Raumordnungsplan Westpfalz 1989, Neustadt a. d. Weinstraße.
- PGW – PLANUNGSGEMEINSCHAFT WESTPFALZ; 1995: Regionaler Raumordnungsplan Westpfalz – Teilfortschreibung: Vorrangflächen für großflächige Gewerbe- und Industriegebiete, Neustadt a. d. Weinstraße.
- PLÜSS, CH.; 1997: The Energy Balance Over an Alpine Snowcover; Zürcher Geographische Schriften, Nr. 65; Geographisches Institut ETH, Zürich.
- RENGER, MANFRED; WESSOLEK, GERD; 1993: Mögliche Auswirkungen von Klima- und Landnutzungsänderungen auf den Bodenwasserhaushalt unter besonderer Berücksichtigung der Grundwasserneubildung; Schriftenreihe der Universität GH-Duisburg, 119-135.
- RIEBESAME, WILLIAM E.; MEYER, WILLIAM B.; TURNER II, B.L.; 1994: Modeling land use and cover as part of global environmental change. IN: Climatic Change 28, 45-64.
- RIDINGER, RUDOLF; 1996: Die Reform der Strukturfonds – eine Bilanz; IN: GICK, WOLFGANG (Hrsg.); 1996: Die zukünftige Ausgestaltung der Regionalpolitik der EU; Hanns-Seidel-Stiftung, München; 133-148.
- SCHAEFFER, FRITZ; SCHACHTSCHABEL, PAUL; 1992: Lehrbuch der Bodenkunde; Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHNEIDER-SLIWA, RITA; SCHAUB, DANIEL; GEROLD, GERHARD (Hrsg.); 1999: Angewandte Landschaftsökologie – Grundlagen und Methoden; Springer-Verlag, 1999.
- SCHULLA, J.; 1997: Hydrologische Modellierung von Flußgebieten zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen; Zürcher Geographische Schriften, Nr. 69; Geographisches Institut ETH, Zürich.

- SCHULLA, CONSTANZE; 1999: Aufbereitung und Interpolation der meteorologischen Eingangsdaten für das Projekt „Verdunstungskarte Rheinland-Pfalz“, Schlußbericht, Zürich.
- SLA – STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ; (Hrsg.) 1961: Die Bodennutzung im Jahre 1960 – Endgültiges Ergebnis, Statistische Berichte, Bad Ems.
- SLA – STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ; (Hrsg.) 1972: Die Bodennutzung im Jahre 1971 – Endgültige Ergebnisse, Statistische Berichte, Bad Ems.
- SLA – STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.); 1983: Bodennutzung im Jahre 1983 – Ergebnisse der Bodennutzungshaupterhebung, Statistische Berichte, Bad Ems.
- SLA – STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.); 1996: Bodennutzung im Jahre 1995 – Ergebnisse der Bodennutzungshaupterhebung, Statistische Berichte, Bad Ems.
- SLA – STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.); 1998: Nutzung der Bodenfläche 1997 – Ergebnisse der Flächenerhebung – tatsächliche Nutzung, Statistische Berichte, Bad Ems.
- SLA – STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.); verschiedene Jahre: Nutzung der Bodenfläche 1950-1971, Auszüge aus dem Landesinformationssystem für die Kreisfreie Stadt Kaiserslautern, den Landkreis Kaiserslautern und den Landkreis Kusel, Bad Ems.
- SLA – STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.); verschiedene Jahre: Flächenerhebung – Gesamtfläche nach Nutzungsarten, Auszüge aus dem Landesinformationssystem für die Kreisfreie Stadt Kaiserslautern, den Landkreis Kaiserslautern und den Landkreis Kusel, Bad Ems.
- THD – TECHNISCHE HOCHSCHULE DARMSTADT; 1995: Quantifizierung von Vermeidungs- und Ausgleichsmaßnahmen; im Auftrag des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz; Bearbeiter: Leichtfuß, Armin; Kivumbi, Dorian; Darmstadt.
- TUD – TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN; 1993: Wasserhaushaltsberechnungen – in den Einzugsgebieten Oberer Glan, Schwarzbach, Neuwoogbach; im Auftrag des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz; Bearbeiter: Golf, W.; Luckner, K.; Dresden.
- VEENEKLAAS, F.R.; VAN DEN BERG, L.M.; SLOTHOUWER, D.; IJKELENSTAM, G.F.P.; 1994: Rhine basin study: Land use projections based on biophysical and socio-economic analysis – Volume 4. Land use: past, present and future; Report 85.4, DLO Winand Staring Centre, Wageningen (The Netherlands).
- VELDKAMP, A.; FRESCO, L.O.; 1996: CLUE: a conceptual model to study the Conversion of Land Use and its Effects;
IN: Ecological Modelling, 85, 253-270.

- VELDKAMP, A.; FRESCO, L.O.; 1997: Exploring Land Use Scenarios – An Alternative Approach Based on Actual Land Use;
IN: Agricultural systems, 55, No 1, 1-17.
- WALTHER, HEINRICH; LIETH, HELMUT; 1960: Klimadiagramm-Weltatlas, Gustav Fischer Verlag, Jena.
- WESSOLEK, G.; RENGER, M.; STREBEL, O.; SPONAGEL; H.; 1985: Einfluß von Boden und Grundwasserflurabstand auf die jährliche Grundwasserneubildung unter Acker, Grünland und Nadelwald;
IN: Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 26; 130-137.
- WESSOLEK, GERD; 1992: Einfluss der Versiegelung auf die Grundwasserneubildung;
IN: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Grundwasserüberwachungsprogramm – Grundwasserneubildung aus Niederschlägen, 153-165.
- WOHLRAB, BOTHO; 1973: Über Wirkungen eines Wandels der Bodennutzung auf den Wasserhaushalt in quantitativer Hinsicht;
IN: Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 1973, Sonderheft, 20-24.
- ZIMMERMANN, BEATE; 1997: Einkommens- und Strukturwirkungen der Agrarreform der Europäischen Union und alternativer Politikmaßnahmen – Agrarwirtschaft Sonderheft 156; AgriMedia; Frankfurt am Main.

10.2 Internetquellen

- BRONSTERT, AXEL; FRITSCH, UTA; KATZENMAIER, DANIEL; 1999: Quantifizierung des Einflusses der Landnutzung und –bedeckung auf den Hochwasserabfluß in Flußgebieten unter Berücksichtigung der aktuellen Bodenbearbeitung, des Zustandes der Vegetationsdecke und von möglichen Klimaänderungen – Zwischenbericht des UBA-Projekts FKZ 297 24 508.
Im Internet: URL: <http://www.PIK-Potsdam.DE/mantle/lahor/ergebnis1.htm> [Stand: 15.9.1999].
- DEUTSCHE GESETZESTEXTE: Bundesnaturschutzgesetz
Im Internet: URL: <http://www.gesetzesweb.de/BNatschG.html> [Stand: 9.12.2000].
- HR WALLINGFORD (1998): EUROTAS – Flood risk mitigation.
Im Internet: URL: <http://www.hrwallingford.co.uk/projects/EUROTAS/index.html> [Stand: 18.9.2000].
- SCADPlus (2000a): AGENDA 2000 – Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP).
Im Internet: URL: <http://europa.eu.int/scadplus/leg/de/lvb/l60002.htm> [Stand: 24.10.2000]
- SCADPlus (2000b): AGENDA 2000 – Reform der Strukturfonds.
Im Internet: URL: <http://europa.eu.int/scadplus/leg/de/lvb/l60013.htm> [Stand: 24.10.2000]

SCADPlus (2000c): Die Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik – Förderung der ländlichen Entwicklung.

Im Internet: URL: <http://europa.eu.int/scadplus/leg/de/lvb/l60006.htm> [Stand: 29.09.2000]

UBA – Umweltbundesamt (2000): Wasser – Wasserrecht; EG-Wasserrahmenrichtlinie.

Im Internet: URL: http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/wrrl_chronologie.htm [Stand: 15.11.2000]

10.3 Datenquellen und Kartengrundlagen

vgl. Tabelle 1-1

10.4 Mündliche Besprechungen

Dipl. Ing. Jan-Peter Schäfermeyer: Datum: 17. Juli 2000

Dipl. Ing. Agrar Tania Runge: Datum: 31. Mai 2000

Anhang

- 1-1 NOMENKLATUR DER BODENBEDECKUNGEN IN DER CORINE-LANDNUTZUNGSKARTIERUNG**
- 1-2 PROZENTUALE ANTEILE DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN PRODUKTIONSFLÄCHEN IN DEN EINZELNEN LANDKREISEN**
- 3 ZUORDNUNG DER EU-STRUKTURFONDS ZU DEREN FÖRDERZIELEN**
- 4 PROZENTUALE ENTWICKLUNG DER LANDWIRTSCHAFT IN DEN EINZELNEN LANDKREISEN**
- 6-1 BEISPIELE FÜR DIE PARAMETRISIERUNG IN TRAIN**
- 6-2 VERIFIZIERUNG IN TRAIN**
- 7-1 ERGEBNISKARTEN DER MODELLIERUNG MIT TRAIN FÜR DIE VERSICKERUNG IM EINZUGSGEBIET DES GLAN (1961-1990)**
- 7-2 ERGEBNISKARTEN DER MODELLIERUNG MIT TRAIN FÜR DEN IST-ZUSTAND UND DIE EXTREMSZENARIEN IM EINZUGSGEBIET DES GLAN (1961-1990)**

1-1 Nomenklatur der Bodenbedeckungen in der CORINE-Landnutzungskartierung

1. BEBAUTE FLÄCHEN

1.1 STÄDTISCH GEPRÄGTE FLÄCHEN

1.1.1 Durchgängig städtische Prägung

Flächen mit Bebauungsstruktur. Gebäude, Hauptverkehrsstraßen und Flächen mit künstlicher Bodenbedeckung nehmen den größten Teil der Fläche ein. Grünflächen nichtlinearer Struktur und offene Flächen sind die Ausnahme. Mindestens 80% der Gesamtfläche sind versiegelt.

1.1.2 Nicht durchgängig städtische Prägung

Flächen mit Bebauungsstruktur. Neben Gebäuden, Hauptverkehrsstraßen und Flächen mit künstlicher Bodenbedeckung treten inselhaft Grünflächen und offene Flächen von signifikanter Größe auf. Der Versiegelungsgrad der Gesamtfläche liegt unter 80%.

1.2 INDUSTRIE-, GEWERBE- UND VERKEHRSFLÄCHEN

1.2.1 Industrie- und Gewerbeflächen

Flächen mit künstlicher Bodenbedeckung (betoniert, geteert, asphaltiert oder verfestigt) ohne Vegetation machen den größten Teil der betreffenden Flächen aus, die auch Gebäude und Grünflächen umfassen.

1.2.2 Straßen-, Eisenbahnnetze und funktionell zugeordnete Flächen Straßen, Eisenbahnlinien mit dazugehörigen Anlagen

(Bahnhöfe, Schuppen, Bahndämme). Mindestbreite: 100 m. Bahndämme, Straßenränder und Verkehrsbegleitgrün gehören ebenfalls dazu.

1.2.3 Hafengebiete

Infrastruktur von Hafengebieten, Kaianlagen, Werften und Yachthäfen.

1.2.4 Flughäfen

Infrastruktur von Flughäfen: Start- und Landebahnen, Gebäude und funktionell zugeordnete Flächen.

1.3 ABBAUFLÄCHEN, DEPONIEN und BAUSTELLEN

1.3.1 Abbauflächen

Tagebauflächen zur Gewinnung von Kies, Steinen (Kiesgruben, Steinbrüche) und anderen Rohstoffen. Dazu gehören auch mit Wasser gefüllte Kiesgruben, jedoch nicht Flächen von Gewässerläufen, die zur Kiesgewinnung genutzt werden. Einzubeziehen sind funktionell zugeordnete Flächen.

1.3.2 Deponien und Abraumhalden

Offene Deponien für Siedlungs- und Industriemüll sowie Abraumhalden.

1.3.3 Baustellen

Flächen, auf denen gebaut, Boden abgetragen und Erdarbeiten vorgenommen werden.

1.4 KÜNSTLICH ANGELEGTE, NICHT LANDWIRTSCHAFTLICH GENUTZTE GRÜNFLÄCHEN

1.4.1 Städtische Grünflächen

Grünflächen innerhalb der städtisch geprägten Flächen. Dazu gehören Parkanlagen und Friedhöfe mit Vegetation.

1.4.2 Sport- und Freizeitanlagen

Campingplätze, Sportplätze, Freizeitparks, Golfplätze, Pferderennbahnen, Kleingartenanlagen usw. Dazu gehören auch Parkanlagen außerhalb der städtisch geprägten Flächen.

2. LANDWIRTSCHAFTLICHE FLÄCHEN

2.1 ACKERFLÄCHEN

2.1.1 Nicht bewässertes Ackerland

Flächen zum Anbau von Getreide, Gemüse, Futterpflanzen, Industriepflanzen und Hackfrüchten sowie brachliegende Flächen, einschließlich Blumen-, Baum- (Baumschulen) und Gemüsekulturen (einschließlich Erwerbsgartenbau) im Freilandbau, unter Glas oder Folie. Flächen zum Anbau von Arznei-, Aroma- und Gewürzpflanzen.

2.1.2 Regelmäßig bewässertes Ackerland

Ständig oder regelmäßig bewässerte Kulturen unter Verwendung einer vorhandenen Infrastruktur (Bewässerungskanäle, Entwässerungsnetze). Die meisten dieser Kulturen könnten ohne künstliche Bewässerung nicht angebaut werden. Nicht dazu gehören Flächen mit gelegentlicher Bewässerung.

2.1.3 Reisfelder

Für den Reisanbau angelegte Flächen, die mit Bewässerungskanälen durchzogen sind. Die Oberfläche ist in der Regel mit Wasser bedeckt.

2.2 DAUERKULTUREN

2.2.1 Weinbauflächen

Mit Weinreben bestockte Flächen.

2.2.2 Obst- und Beerenobstbestände

Parzellen mit Obstbäumen und -sträuchern. Anbau einzelner oder mehrerer Obstsorten. Obstbäume in Verbindung mit Wiesenflächen. Hierzu gehören auch Kastanien- und Walnußbäume.

2.2.3 Olivenhaine

Flächen mit Olivenbäumen.

2.3 GRÜNLAND

2.3.1 Wiesen und Weiden

Dichter Grasbewuchs durchsetzt mit Blumen, überwiegend Gräser, nicht im Fruchtwechsel. Hauptsächlich Weideflächen, aber auch Flächen, auf denen das Futtergras mechanisch geerntet wird. Dazu gehören Dauer- und Wechselweiden sowie künstlich angelegte Weiden einschließlich Bereichen mit Hecken. Kennzeichen dieser Flächen ist ihre intensive landwirtschaftliche Nutzung.

2.4 LANDWIRTSCHAFTLICHE FLÄCHEN HETEROGENER STRUKTUR

2.4.1 Einjährige Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen

Wechselkulturen (Ackerflächen oder Grünland) in Verbindung mit Dauerkulturen auf ein und derselben Fläche.

2.4.2 Komplexe Parzellenstrukturen

Ein Nebeneinander kleiner Parzellen unterschiedlicher Prägung: verschiedene Ackerflächen (2.1.X), Dauerkulturen (2.2.X) und Wiesen und Weiden (2.3.1), wobei die Teilflächen unter der Erfassungsgrenze von 25 ha liegen. Die Bodenbedeckungsklassen der Positionen 2.1.X, 2.2.X und 2.3.1 nehmen jeweils weniger als 75% der Gesamtfläche ein.

2.4.3 Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher

Bodenbedeckung von signifikanter Größe

Von der Landwirtschaft genutzte Flächen, unterbrochen von Flächen natürlicher Bodenbedeckung. Der Anteil der Landwirtschaftlichen Flächen (2.X.X) und der Anteil der Wälder und naturnahen Flächen (3.X.X) liegt jeweils unter 75% der Gesamtfläche.

2.4.4 Land- und forstwirtschaftliche Flächen

Einjährige Kulturen oder Weideland unter forstwirtschaftlich genutztem Baumbestand.

3. WÄLDER UND NATURNAHE FLÄCHEN

3.1 WÄLDER

3.1.1 Laubwälder

Flächen mit überwiegendem Baumbewuchs, die aber auch mit Büschen und Sträuchern durchsetzt sein können; Laubbaumarten bedecken mehr als 75% der Gesamtfläche.

3.1.2 Nadelwälder

Flächen mit überwiegendem Baumbewuchs, die aber auch mit Büschen und Sträuchern durchsetzt sein können; Nadelbaumarten bedecken mehr als 75% der Gesamtfläche.

3.1.3 Mischwälder

Flächen mit überwiegendem Baumbewuchs, die aber auch mit Büschen und Sträuchern durchsetzt sein können; weder Laub- noch Nadelbaumarten überwiegen. Ihr jeweiliger Anteil an der Gesamtfläche liegt unter 75%.

3.2 STRAUCH- UND KRAUTVEGETATION

3.2.1 Natürliches Grünland

Ertragsarmes Grünland. Oft in hügeligem Gelände. Häufig mit Gestrüpp, Fels- und Heideflächen durchsetzt. Extensiv genutzte Grünflächen. Oft in schwer erreichbarem Gelände; Grünflächen in Waldgebieten.

3.2.2 Heiden und Moorheiden

Niedrige und dichte Vegetation. Überwiegend Büsche, Sträucher und Kräuter (Heidekraut, Dorngestrüpp, Besenginster, Stechginster, Goldregen usw.).

3.2.3 Hartlaubbewuchs

Buschiger Hartlaubbewuchs. Dazu gehören Macchia und Garrigue. Macchia: dichte Vegetation, zusammengesetzt aus zahlreichen kleinen Bäumen und Sträuchern, die auf sauren Silikatböden im Mittelmeerraum auftritt. Garrigue: lückenhafte buschige Vegetation auf Kalkplateaus im Mittelmeerraum. Dazu gehören häufig Kermeseichen, Wacholder, Erdbeerbaum, Lavendel, Thymian, weiße Zistrose usw. Einzelstehende Bäume können auftreten.

3.2.4 Wald-Strauch-Übergangsstadien

Busch- oder Krautvegetation mit einzelnen Bäumen. Die Flächen können entweder aus Waldflächen durch allmähliche Degenerierung oder durch natürliche Verjüngung des Waldes entstanden sein.

3.3 OFFENE FLÄCHEN OHNE / MIT GERINGER VEGETATION

3.3.1 Strände, Dünen und Sandflächen

Strände, Dünen sowie Küsten- oder Festlandflächen mit Sand oder Geröll.

3.3.2 Felsflächen ohne Vegetation

Geröllhalden, Klippen, Felsen, anstehendes Gestein.

3.3.3 Flächen mit spärlicher Vegetation

Trockensteppen, alpine und polare Tundra, Erosionsflächen.

3.3.4 Brandflächen

Flächen, auf denen es kürzlich gebrannt hat und die zum größten Teil noch schwarz sind.

3.3.5 Gletscher und Dauerschneegebiete

Von Gletschern und Dauerschnee bedeckte Flächen.

4. FEUCHTFLÄCHEN

4.1 FEUCHTFLÄCHEN IM LANDESINNERN

4.1.1 Sümpfe

Tief liegende Flächen, die normalerweise im Winter überflutet und ganzjährig mit Wasser gesättigt sind. Auch landwirtschaftlich genutzte Flächen, die der vorgenannten Definition genügen, sind hier zuzuordnen.

4.1.2 Torfmoore

Naßfeuchte Flächen, deren Boden vorwiegend aus Torfmoos und unvollständig abgebauten pflanzlichen Stoffen besteht. Torfmoore werden abgebaut oder nicht abgebaut.

4.2 FEUCHTFLÄCHEN AN DER KÜSTE

4.2.1 Salzwiesen

Unmittelbar über der Linie des mittleren Hochwassers liegende Flächen, die regelmäßig von Salzwasser überspült werden. Sie sind häufig einem Sedimentationsprozeß unterworfen; allmähliches Vordringen von Halophyten.

4.2.2 Salinen

Noch betriebene oder stillgelegte Flächen zur Salzgewinnung. Bereiche der Marschküste, auf denen durch Verdunstung Salz gewonnen wird. Diese Bereiche sind durch ihre Einteilung und ihre Dammanlage eindeutig von den übrigen Marschgebieten zu unterscheiden.

4.2.3 In der Gezeitenzone liegende Flächen

Flächen mit Schlamm, Sand und Felsen, die sich zwischen den Niveaus des mittleren Hoch- und mittleren Niedrigwasserstands befinden und somit bei Ebbe trockenfallen; in der Regel ohne Vegetation.

5. WASSERFLÄCHEN

5.1 WASSERFLÄCHEN IM LANDESINNERN

5.1.1 Gewässerläufe

Natürliche oder künstlich angelegte Gewässerläufe, die dem Wasserabfluß dienen. Dazu gehören auch Kanäle. Mindestbreite: 100 m.

5.1.2 Wasserflächen

Natürliche oder künstliche Wasserflächen.

5.2 MEERESGEWÄSSER

5.2.1 Lagunen

Salz- oder Brackwasserzonen im Küstenbereich, die vom Meer durch eine Landzunge oder ähnliche topographische Formen getrennt sind. Diese Wasserflächen können mit dem Meer an wenigen Stellen in Verbindung stehen. Diese Verbindung kann entweder ständig oder nur periodisch zu bestimmten Zeiten im Jahr bestehen.

5.2.2 Mündungsgebiete

Teil der Flußmündung (Trichtermündung), der dem Einfluß des Meeres ausgesetzt ist.

5.2.3 Meere und Ozeane

Der an den mittleren Niedrigwasserstand angrenzende Bereich des offenen Meeres.

9.9.9 Flächen außerhalb des Bearbeitungsgebietes

2 Prozentuale Anteile der landwirtschaftlichen Produktionsflächen in den einzelnen Landkreisen

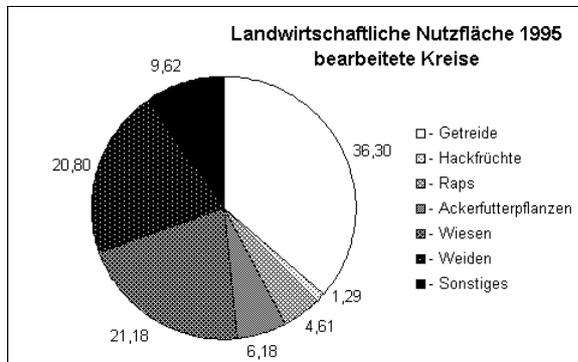


Abbildung A-1: Prozentuale Anteile der landwirtschaftlichen Produktionsflächen in den bearbeiteten Landkreise (Datenquelle: SLA)

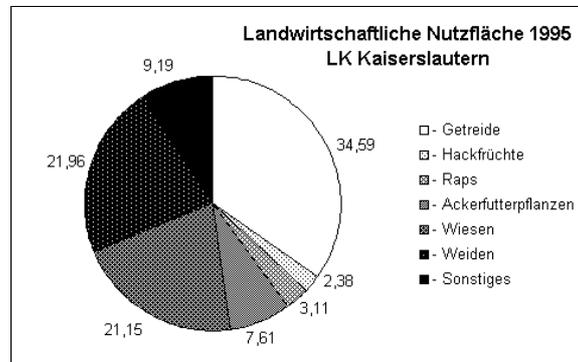


Abbildung A-2: Prozentuale Anteile der landwirtschaftlichen Produktionsflächen im Landkreis Kaiserslautern (Datenquelle: SLA)

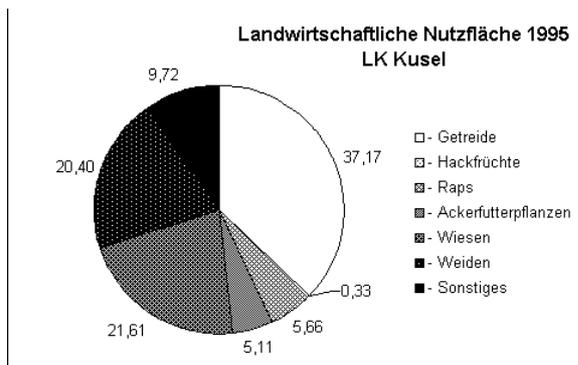


Abbildung A-3: Prozentuale Anteile der landwirtschaftlichen Produktionsflächen im Landkreis Kusel (Datenquelle: SLA)

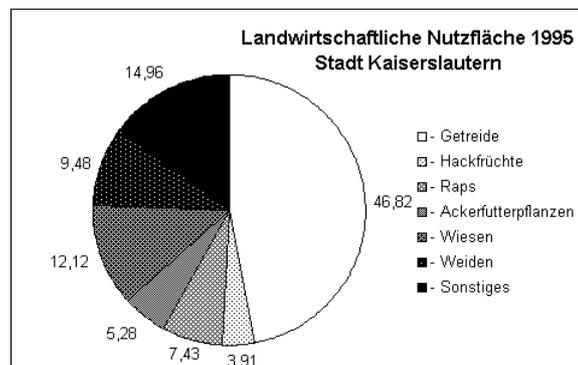


Abbildung A-4: Prozentuale Anteile der landwirtschaftlichen Produktionsflächen in der kreisfreien Stadt Kaiserslautern (Datenquelle: SLA)

3 Zuordnung der EU-Strukturfonds zu deren Förderzielen

Tabelle A-1: Zuordnung der bis 1999 gültigen Strukturfonds der EU zu deren Förderzielen (vgl. ISB 1999a, 15)

Ziele	Strukturfonds			
Ziel 1	EFRE	ESF	EAGFL	
Ziel 2	EFRE	ESF		
Ziel 3	ESF			
Ziel 4	ESF			
Ziel 5a			EAGFL	FIAF
Ziel 5b	EFRE	ESF	EAGFL	
Ziel 6	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

EFRE: Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

ESF: Europäischer Sozialfonds

EAGFL: Europäischer Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft

FIAF: Finanzinstrument zur Ausrichtung der Fischerei

k.A. keine Angabe

Tabelle A-2: Zuordnung der Strukturfonds der EU zu den Förderzielen und Gemeinschaftsinitiativen nach der Agenda 2000 (vgl. SCADPLUS 2000b, 3f)

Ziele und Gemeinschaftsinitiativen	Strukturfonds			
Ziel 1	EFRE	ESF	EAGFL	FIAF
Ziel 2	EFRE	ESF	EAGFL	FIAF
Ziel 3	ESF			
INTERREG	EFRE			
URBAN	EFRE			
LEADER+	EAGFL			
EQUAL	ESF			

EFRE: Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

ESF: Europäischer Sozialfonds

EAGFL: Europäischer Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft

FIAF: Finanzinstrument zur Ausrichtung der Fischerei

4 Prozentuale Entwicklung der Landwirtschaft in den einzelnen Landkreisen

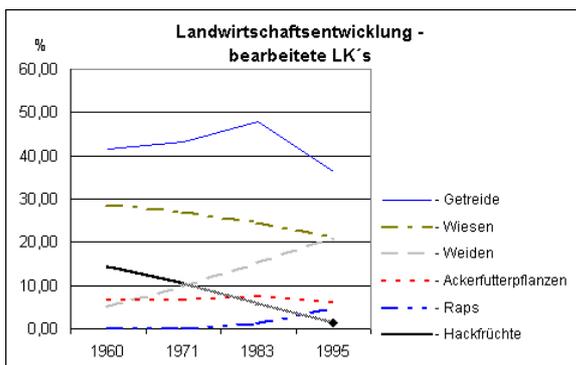


Abbildung A-5: Prozentuale Entwicklung der Landwirtschaft der bearbeiteten Landkreise zwischen 1960 und 1995

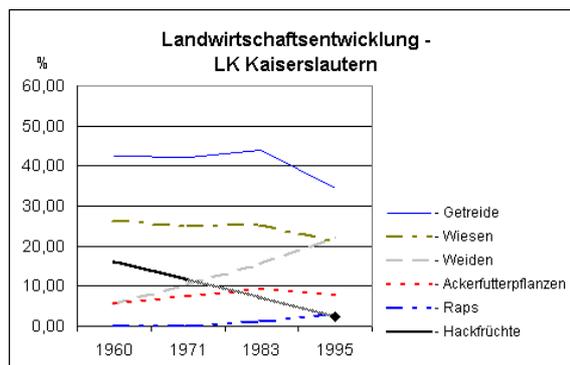


Abbildung A-6: Prozentuale Entwicklung der Landwirtschaft des Landkreises Kaiserslautern zwischen 1960 und 1995

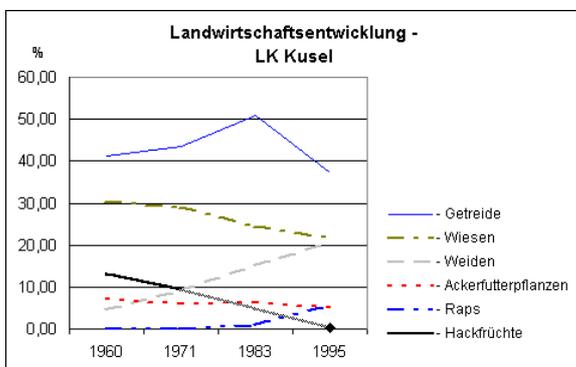


Abbildung A-7: Prozentuale Entwicklung der Landwirtschaft des Landkreises Kusel zwischen 1960 und 1995

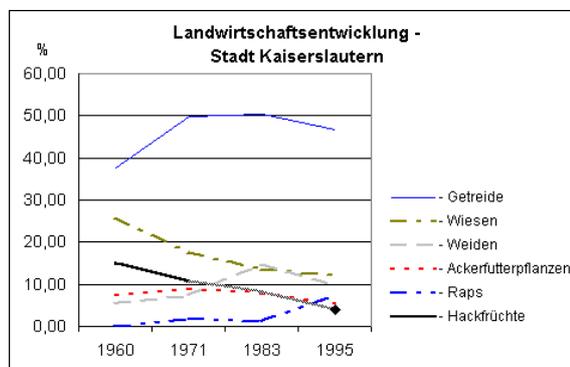


Abbildung A-8: Prozentuale Entwicklung der Landwirtschaft der kreisfreien Stadt Kaiserslautern zwischen 1960 und 1995

Anmerkung: Für die Hackfrüchte lagen 1983 keine gesonderten Daten vor.

6-1 Beispiele für die Parametrisierung in TRAIN

Abbildung A-9: Parametrisierung für ackerbaulich genutzte Flächen

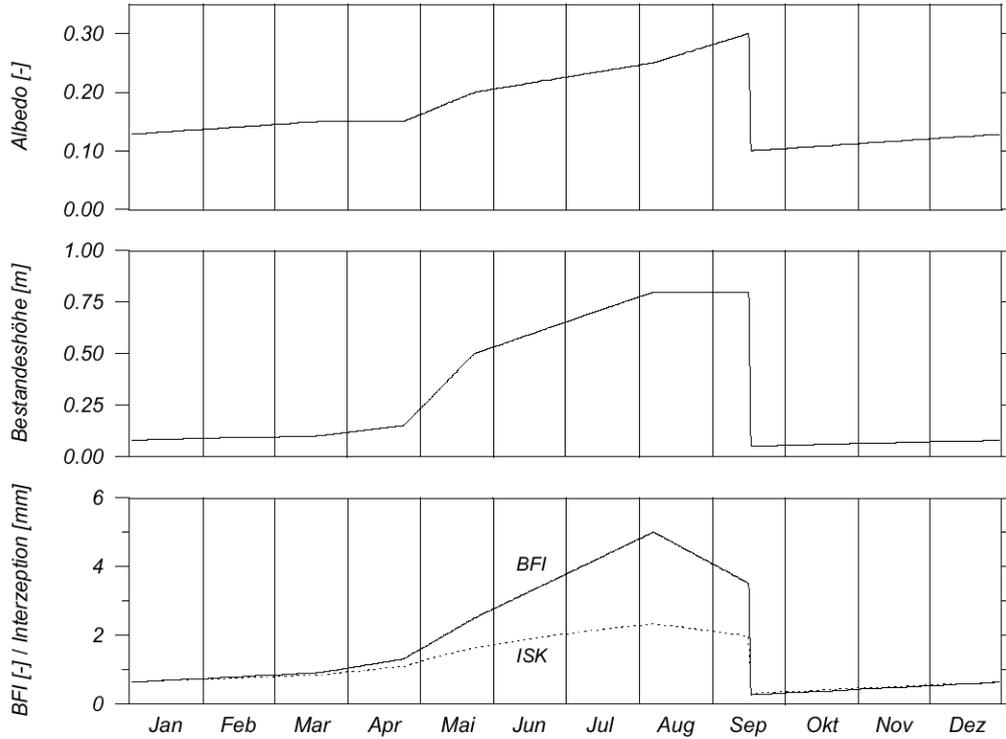
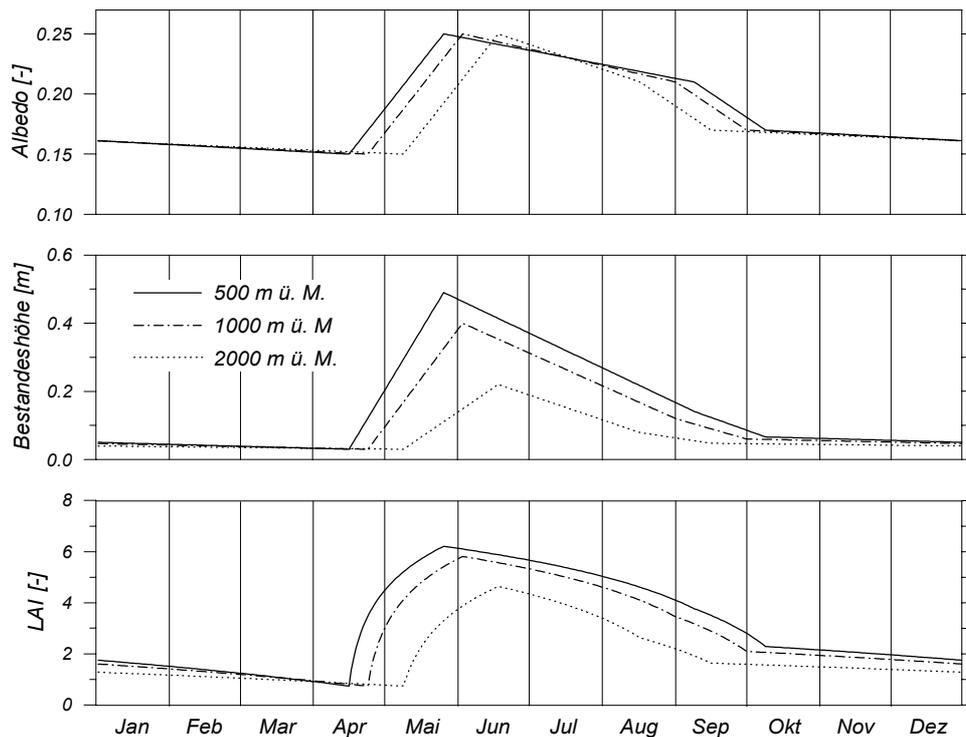


Abbildung A-10: Mittlere jahreszeitliche Vegetationsentwicklung bei Grünland



6-2 Verifizierung in TRAIN

Verifizierung der Modellierung mit TRAIN anhand von Lysimeterdaten													
Waldmohr TRAIN 1961-1990													
1961-1990 30 Jahre	Winter						Sommer						Jahr
	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	
Niederschlag	77,1	79,7	67,9	60,7	64,2	55,8	75,0	77,1	68,5	68,5	59,7	64,8	819,0
Sickerung	14,0	21,7	22,9	21,5	22,6	19,2	8,3	4,3	1,3	1,7	2,0	5,6	145,1
Verdunstung	10,7	6,1	5,7	7,2	17,5	50,5	99,3	91,3	86,9	67,7	45,7	22,8	511,4
Waldmohr Lysimeter 1982 -1989													
1982-1989 8 Jahre	Winter						Sommer						Jahr
	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	
Niederschlag	67,4	78,8	75,5	53,8	80,8	59,5	85,5	70,8	64,2	49,5	69,0	86,6	841,3
Sickerung	52,5	84,8	105,2	68,6	87,1	56,1	31,2	28,4	6,8	6,6	6,3	30,5	564,1
Verdunstung	14,9	-6,0	-29,7	-14,8	-6,4	3,4	54,3	42,4	57,3	43,0	62,7	56,1	277,3
Eichelscheider Hof 2 TRAIN 1961-1990													
1961-1990 30 Jahre	Winter						Sommer						Jahr
	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	
Niederschlag	73,8	75,6	63,9	57,6	60,8	53,4	71,9	74,1	65,4	65,7	57,3	61,7	781,2
Sickerung	14,2	21,7	22,8	21,7	22,6	19,6	13,5	6,1	1,6	1,2	1,3	5,1	151,3
Verdunstung	5,7	4,5	5,3	8,4	19,9	36,3	73,4	105,1	100,2	70,7	37,8	11,4	478,7
Eichelscheider Hof 1 Lysimeter 1971 -1980													
1971-1980 10 Jahre	Winter						Sommer						Jahr
	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	
Niederschlag	87,1	75,7	69,4	68,2	59,8	42,9	67,6	76,6	72,3	67,9	44,8	52,4	784,8
Sickerung	2,9	4,3	4,8	6,6	4,5	4,1	2,3	1,8	2,1	1,1	1,0	2,5	38,0
Verdunstung	84,1	71,4	64,6	61,7	55,3	38,8	65,4	74,9	70,2	66,8	43,8	49,9	746,9
Eichelscheider Hof 2 Lysimeter 1971 -1980													
1971-1980 10 Jahre	Winter						Sommer						Jahr
	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	
Niederschlag	86,5	77,7	69,7	66,2	60,0	42,6	67,9	78,1	64,9	68,5	43,8	50,7	776,7
Sickerung	20,4	70,3	51,6	73,2	43,1	30,7	25,8	13,0	20,8	8,4	5,6	8,9	371,6
Verdunstung	66,1	7,5	18,2	-7,0	16,8	12,0	42,2	65,1	44,2	60,1	38,3	41,8	405,1
Eichelscheider Hof 2 Lysimeter 1962 -1980													
1962-1980 19 Jahre	Winter						Sommer						Jahr
	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	
Niederschlag	90,3	85,0	70,6	67,4	68,6	52,1	71,3	71,9	65,1	78,3	55,8	50,2	826,5
Sickerung	32,5	74,7	54,7	69,0	56,0	39,5	29,3	12,0	12,6	9,7	14,3	14,5	418,7
Verdunstung	57,8	10,3	15,9	-1,6	12,6	12,6	42,0	59,9	52,5	68,6	41,4	35,7	407,8
Eichelscheider Hof 2 TRAIN 1962-1980													
1962-1980 19 Jahre	Winter						Sommer						Jahr
	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	
Niederschlag	50,9	46,3	35,9	36,5	37,9	31,2	44,0	45,2	43,6	46,5	35,0	30,8	483,9
Sickerung	12,8	19,5	20,1	21,1	19,9	17,6	10,0	4,4	3,1	3,2	3,3	5,3	140,2
Verdunstung	11,9	8,0	8,0	11,2	24,4	46,7	82,5	90,0	86,3	68,2	42,3	20,8	500,2
Eichelscheider Hof 2 TRAIN 1961-1990													
1961-1990 30 Jahre	Winter						Sommer						Jahr
	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	
Niederschlag	73,8	75,6	63,9	57,6	60,8	53,4	71,9	74,1	65,4	65,7	57,3	61,7	781,2
Versickerung	14,2	21,7	22,8	21,7	22,6	19,6	13,5	6,1	1,6	1,2	1,3	5,1	151,3
Verdunstung	5,7	4,5	5,3	8,4	19,9	36,3	73,4	105,1	100,2	70,7	37,8	11,4	478,7

7-1 Ergebnisse

Ist-Zustand Versickerung

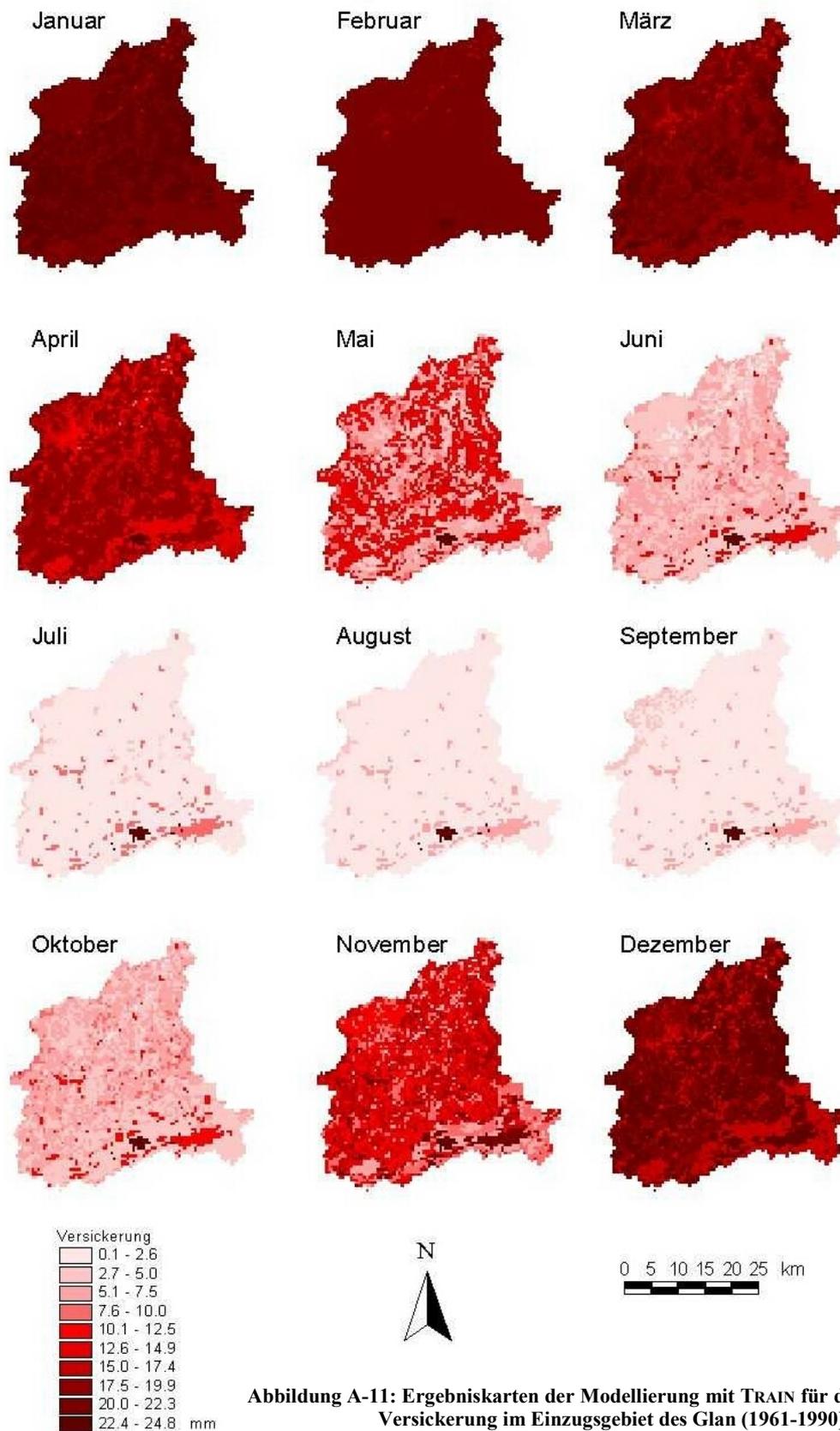


Abbildung A-11: Ergebniskarten der Modellierung mit TRAIN für die Versickerung im Einzugsgebiet des Glan (1961-1990)

7-2 Ergebnisse

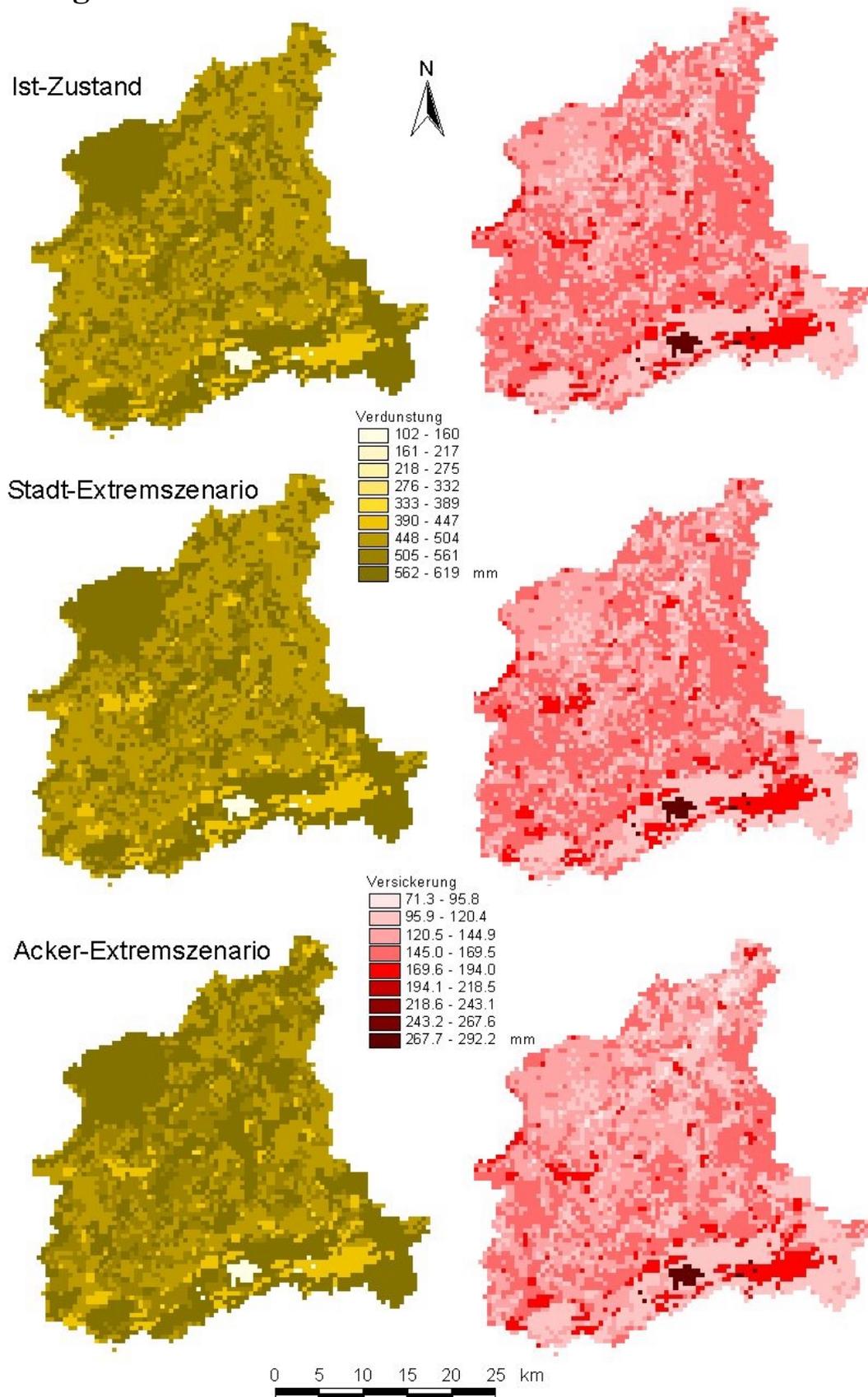


Abbildung A-12: Ergebniskarten der Modellierung mit TRAIN für den Ist-Zustand und die Extremszenarien im Einzugsgebiet des Glan (1961-1990)

PIK Report-Reference:

- No. 1 3. Deutsche Klimatagung, Potsdam 11.-14. April 1994
Tagungsband der Vorträge und Poster (April 1994)
- No. 2 Extremer Nordsommer '92
Meteorologische Ausprägung, Wirkungen auf naturnahe und vom Menschen beeinflusste Ökosysteme, gesellschaftliche Perzeption und situationsbezogene politisch-administrative bzw. individuelle Maßnahmen (Vol. 1 - Vol. 4)
H.-J. Schellnhuber, W. Enke, M. Flechsig (Mai 1994)
- No. 3 Using Plant Functional Types in a Global Vegetation Model
W. Cramer (September 1994)
- No. 4 Interannual variability of Central European climate parameters and their relation to the large-scale circulation
P. C. Werner (Oktober 1994)
- No. 5 Coupling Global Models of Vegetation Structure and Ecosystem Processes - An Example from Arctic and Boreal Ecosystems
M. Plöchl, W. Cramer (Oktober 1994)
- No. 6 The use of a European forest model in North America: A study of ecosystem response to climate gradients
H. Bugmann, A. Solomon (Mai 1995)
- No. 7 A comparison of forest gap models: Model structure and behaviour
H. Bugmann, Y. Xiaodong, M. T. Sykes, Ph. Martin, M. Lindner, P. V. Desanker, S. G. Cumming (Mai 1995)
- No. 8 Simulating forest dynamics in complex topography using gridded climatic data
H. Bugmann, A. Fischlin (Mai 1995)
- No. 9 Application of two forest succession models at sites in Northeast Germany
P. Lasch, M. Lindner (Juni 1995)
- No. 10 Application of a forest succession model to a continentality gradient through Central Europe
M. Lindner, P. Lasch, W. Cramer (Juni 1995)
- No. 11 Possible Impacts of global warming on tundra and boreal forest ecosystems - Comparison of some biogeochemical models
M. Plöchl, W. Cramer (Juni 1995)
- No. 12 Wirkung von Klimaveränderungen auf Waldökosysteme
P. Lasch, M. Lindner (August 1995)
- No. 13 MOSES - Modellierung und Simulation ökologischer Systeme - Eine Sprachbeschreibung mit Anwendungsbeispielen
V. Wenzel, M. Kücken, M. Flechsig (Dezember 1995)
- No. 14 TOYS - Materials to the Brandenburg biosphere model / GAIA
Part 1 - Simple models of the "Climate + Biosphere" system
Yu. Svirezhev (ed.), A. Block, W. v. Bloh, V. Brovkin, A. Ganopolski, V. Petoukhov, V. Razzhevaikin (Januar 1996)
- No. 15 Änderung von Hochwassercharakteristiken im Zusammenhang mit Klimaänderungen - Stand der Forschung
A. Bronstert (April 1996)
- No. 16 Entwicklung eines Instruments zur Unterstützung der klimapolitischen Entscheidungsfindung
M. Leimbach (Mai 1996)
- No. 17 Hochwasser in Deutschland unter Aspekten globaler Veränderungen - Bericht über das DFG-Rundgespräch am 9. Oktober 1995 in Potsdam
A. Bronstert (ed.) (Juni 1996)
- No. 18 Integrated modelling of hydrology and water quality in mesoscale watersheds
V. Krysanova, D.-I. Müller-Wohlfeil, A. Becker (Juli 1996)
- No. 19 Identification of vulnerable subregions in the Elbe drainage basin under global change impact
V. Krysanova, D.-I. Müller-Wohlfeil, W. Cramer, A. Becker (Juli 1996)
- No. 20 Simulation of soil moisture patterns using a topography-based model at different scales
D.-I. Müller-Wohlfeil, W. Lahmer, W. Cramer, V. Krysanova (Juli 1996)
- No. 21 International relations and global climate change
D. Sprinz, U. Luterbacher (1st ed. July, 2nd ed. December 1996)
- No. 22 Modelling the possible impact of climate change on broad-scale vegetation structure - examples from Northern Europe
W. Cramer (August 1996)

- No. 23 A method to estimate the statistical security for cluster separation
F.-W. Gerstengarbe, P.C. Werner (Oktober 1996)
- No. 24 Improving the behaviour of forest gap models along drought gradients
H. Bugmann, W. Cramer (Januar 1997)
- No. 25 The development of climate scenarios
P.C. Werner, F.-W. Gerstengarbe (Januar 1997)
- No. 26 On the Influence of Southern Hemisphere Winds on North Atlantic Deep Water Flow
S. Rahmstorf, M. H. England (Januar 1977)
- No. 27 Integrated systems analysis at PIK: A brief epistemology
A. Bronstert, V. Brovkin, M. Krol, M. Lüdeke, G. Petschel-Held, Yu. Svirezhev, V. Wenzel (März 1997)
- No. 28 Implementing carbon mitigation measures in the forestry sector - A review
M. Lindner (Mai 1997)
- No. 29 Implementation of a Parallel Version of a Regional Climate Model
M. Kücken, U. Schättler (Oktober 1997)
- No. 30 Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): Overview and key results
W. Cramer, D. W. Kicklighter, A. Bondeau, B. Moore III, G. Churkina, A. Ruimy, A. Schloss, participants of "Potsdam '95" (Oktober 1997)
- No. 31 Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): Analysis of the seasonal behaviour of NPP, LAI, FPAR along climatic gradients across ecotones
A. Bondeau, J. Kaduk, D. W. Kicklighter, participants of "Potsdam '95" (Oktober 1997)
- No. 32 Evaluation of the physiologically-based forest growth model FORSANA
R. Grote, M. Erhard, F. Suckow (November 1997)
- No. 33 Modelling the Global Carbon Cycle for the Past and Future Evolution of the Earth System
S. Franck, K. Kossacki, Ch. Bounama (Dezember 1997)
- No. 34 Simulation of the global bio-geophysical interactions during the Last Glacial Maximum
C. Kubatzki, M. Claussen (Januar 1998)
- No. 35 CLIMBER-2: A climate system model of intermediate complexity. Part I: Model description and performance for present climate
V. Petoukhov, A. Ganopolski, V. Brovkin, M. Claussen, A. Eliseev, C. Kubatzki, S. Rahmstorf (Februar 1998)
- No. 36 Geocybernetics: Controlling a rather complex dynamical system under uncertainty
H.-J. Schellnhuber, J. Kropp (Februar 1998)
- No. 37 Untersuchung der Auswirkungen erhöhter atmosphärischer CO₂-Konzentrationen auf Weizenbestände des Free-Air Carbondioxid Enrichment (FACE) - Experimentes Maricopa (USA)
Th. Kartschall, S. Grossman, P. Michaelis, F. Wechsung, J. Gräfe, K. Waloszczyk, G. Wechsung, E. Blum, M. Blum (Februar 1998)
- No. 38 Die Berücksichtigung natürlicher Störungen in der Vegetationsdynamik verschiedener Klimagebiete
K. Thonicke (Februar 1998)
- No. 39 Decadal Variability of the Thermohaline Ocean Circulation
S. Rahmstorf (März 1998)
- No. 40 SANA-Project results and PIK contributions
K. Bellmann, M. Erhard, M. Flechsig, R. Grote, F. Suckow (März 1998)
- No. 41 Umwelt und Sicherheit: Die Rolle von Umweltschwellenwerten in der empirisch-quantitativen Modellierung
D. F. Sprinz (März 1998)
- No. 42 Reversing Course: Germany's Response to the Challenge of Transboundary Air Pollution
D. F. Sprinz, A. Wahl (März 1998)
- No. 43 Modellierung des Wasser- und Stofftransportes in großen Einzugsgebieten. Zusammenstellung der Beiträge des Workshops am 15. Dezember 1997 in Potsdam
A. Bronstert, V. Krysanova, A. Schröder, A. Becker, H.-R. Bork (eds.) (April 1998)
- No. 44 Capabilities and Limitations of Physically Based Hydrological Modelling on the Hillslope Scale
A. Bronstert (April 1998)
- No. 45 Sensitivity Analysis of a Forest Gap Model Concerning Current and Future Climate Variability
P. Lasch, F. Suckow, G. Bürger, M. Lindner (Juli 1998)
- No. 46 Wirkung von Klimaveränderungen in mitteleuropäischen Wirtschaftswäldern
M. Lindner (Juli 1998)
- No. 47 SPRINT-S: A Parallelization Tool for Experiments with Simulation Models
M. Flechsig (Juli 1998)

- No. 48 The Odra/Oder Flood in Summer 1997: Proceedings of the European Expert Meeting in Potsdam, 18 May 1998
A. Bronstert, A. Ghazi, J. Hladny, Z. Kundzewicz, L. Menzel (eds.) (September 1998)
- No. 49 Struktur, Aufbau und statistische Programmbibliothek der meteorologischen Datenbank am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
H. Österle, J. Glauer, M. Denhard (Januar 1999)
- No. 50 The complete non-hierarchical cluster analysis
F.-W. Gerstengarbe, P. C. Werner (Januar 1999)
- No. 51 Struktur der Amplitudengleichung des Klimas
A. Hauschild (April 1999)
- No. 52 Measuring the Effectiveness of International Environmental Regimes
C. Helm, D. F. Sprinz (Mai 1999)
- No. 53 Untersuchung der Auswirkungen erhöhter atmosphärischer CO₂-Konzentrationen innerhalb des Free-Air Carbon Dioxide Enrichment-Experimentes: Ableitung allgemeiner Modelllösungen
Th. Kartschall, J. Gräfe, P. Michaelis, K. Waloszczyk, S. Grossman-Clarke (Juni 1999)
- No. 54 Flächenhafte Modellierung der Evapotranspiration mit TRAIN
L. Menzel (August 1999)
- No. 55 Dry atmosphere asymptotics
N. Botta, R. Klein, A. Almgren (September 1999)
- No. 56 Wachstum von Kiefern-Ökosystemen in Abhängigkeit von Klima und Stoffeintrag - Eine regionale Fallstudie auf Landschaftsebene
M. Erhard (Dezember 1999)
- No. 57 Response of a River Catchment to Climatic Change: Application of Expanded Downscaling to Northern Germany
D.-I. Müller-Wohlfel, G. Bürger, W. Lahmer (Januar 2000)
- No. 58 Der "Index of Sustainable Economic Welfare" und die Neuen Bundesländer in der Übergangsphase
V. Wenzel, N. Herrmann (Februar 2000)
- No. 59 Weather Impacts on Natural, Social and Economic Systems (WISE, ENV4-CT97-0448)
German report
M. Flechsig, K. Gerlinger, N. Herrmann, R. J. T. Klein, M. Schneider, H. Sterr, H.-J. Schellnhuber (Mai 2000)
- No. 60 The Need for De-Aliasing in a Chebyshev Pseudo-Spectral Method
M. Uhlmann (Juni 2000)
- No. 61 National and Regional Climate Change Impact Assessments in the Forestry Sector - Workshop Summary and Abstracts of Oral and Poster Presentations
M. Lindner (ed.) (Juli 2000)
- No. 62 Bewertung ausgewählter Waldfunktionen unter Klimaänderung in Brandenburg
A. Wenzel (August 2000)
- No. 63 Eine Methode zur Validierung von Klimamodellen für die Klimawirkungsforschung hinsichtlich der Wiedergabe extremer Ereignisse
U. Böhm (September 2000)
- No. 64 Die Wirkung von erhöhten atmosphärischen CO₂-Konzentrationen auf die Transpiration eines Weizenbestandes unter Berücksichtigung von Wasser- und Stickstofflimitierung
S. Grossman-Clarke (September 2000)
- No. 65 European Conference on Advances in Flood Research, Proceedings, (Vol. 1 - Vol. 2)
A. Bronstert, Ch. Bismuth, L. Menzel (eds.) (November 2000)
- No. 66 The Rising Tide of Green Unilateralism in World Trade Law - Options for Reconciling the Emerging North-South Conflict
F. Biermann (Dezember 2000)
- No. 67 Coupling Distributed Fortran Applications Using C++ Wrappers and the CORBA Sequence Type
Th. Slawig (Dezember 2000)
- No. 68 A Parallel Algorithm for the Discrete Orthogonal Wavelet Transform
M. Uhlmann (Dezember 2000)
- No. 69 SWIM (Soil and Water Integrated Model), User Manual
V. Krysanova, F. Wechsung, J. Arnold, R. Srinivasan, J. Williams (Dezember 2000)
- No. 70 Stakeholder Successes in Global Environmental Management, Report of Workshop, Potsdam, 8 December 2000
M. Welp (ed.) (April 2001)

- No. 71 GIS-gestützte Analyse globaler Muster anthropogener Waldschädigung - Eine sektorale Anwendung des Syndromkonzepts
M. Cassel-Gintz (Juni 2001)
- No. 72 Wavelets Based on Legendre Polynomials
J. Fröhlich, M. Uhlmann (Juli 2001)
- No. 73 Der Einfluß der Landnutzung auf Verdunstung und Grundwasserneubildung - Modellierungen und Folgerungen für das Einzugsgebiet des Glan
D. Reichert (Juli 2001)