

Die hydrologischen Verhältnisse in der Unteren Havelniederung

S. Itzerott, K. Kaden

Die Untere Havelniederung – eine vom Wasser geprägte Kulturlandschaft

Betrachtet man eine topografische Karte des Landes Brandenburg, so stellt man schnell fest, dass Niederungen häufig auftreten. Einige kennen wir mit ihrem Namen; einzelne, wie der Spreewald, sind praktisch ein Synonym Brandenburgs; viele sind uns aber fremd. Niederungsgebiete sind wichtige Berührungspunkte zwischen Mensch und Natur. Die Flüsse zerschneiden wie Adern die Natur und ermöglichen dem Menschen Bewegung durchs Land, geben ihm Nahrung und Wasser. Das Siedlungsbild zeigt, dass Flüsse begehrte Wohnstätten des Menschen sind. Der Mensch ist also eng mit den Flüssen verbunden. Von jeher versucht er sie zu nutzen, sie sich gefügig zu machen, sie zu beherrschen. Er verändert – kultiviert. Auf der anderen Seite gelten Niederungen aus heutiger Sicht als naturnahe und damit schützenswerte Landschaften. Aber sind die Flüsse, ihre Auen und Niederungen wirklich unveränderte Natur? Natürlich nicht. Was uns schützenswert ist, sind die durch den Menschen veränderten Landschaften. Es sind Kulturlandschaften, die wir kennen und die wir meinen, wenn wir von Auenlandschaften sprechen. Dies betrifft auch die Untere Havelniederung (vgl. Abb. 1).

Der Naturraum „Untere Havelniederung“

Die Havel gibt dieser Niederung den Namen und als ein Tieflandfluss ist sie eng mit der pleistozänen Genese des mitteleuropäischen Binnentieflandes verbunden. Sie nutzt die Urstromtäler der Weichselvereisung und entwässert Grundmoräne, Endmoränen und Sander. Die Untere Havelniederung fällt in den westlichen Raum des brandenburgischen Jungmoränengebietes. Für dieses Gebiet ist ein Wechsel von ausgedehnten Niederungen und kleinen Platten, Ländchen genannt, typisch. Die Ländchen sind Reste von Grund- und Endmoränenbildungen des Brandenburger Stadiums der Weichselvereisung. Anteilsmäßig treten sie im Vergleich zu den Niederungen zurück. Der Grund liegt in den großflächigen Ausräumungen der Urströme der niedertauenden Inlandeismassen. Mit dem Berliner, Eberswalder und dem Elbeabflusstal als Fortsetzung des Baruther Urstromtals stoßen hier drei große Urstromtäler aufeinander und bilden großflächige, durch kleine Ländchen gegliederte Niederungsgebiete. Die Übergänge zwischen den Ländchen und der Niederung vollziehen sich abrupt und liegen etwa bei der 30m Höhenlinie. Die Bereiche der Niederung fallen bis auf Höhenlagen von 23,5m bis 25m ab. Die Ländchen können auf Höhen bis nahezu 100m ansteigen.

Die Hauptentwässerung läuft über das Havel-Elbe-System mit den wichtigen Nebenflüssen Jäglitz, Dosse, Rhin und Großer Graben. Von großer Bedeutung ist, dass der untere Havelbereich im Rückstauraum der Havel bei Elbhochwasser liegt. Somit wird die pedohydrologische Variationsbreite hoch und reicht von vertorften Niederungsteilen bis zu durch Auenlehm gekennzeichneten Gebieten. Gemeinsam mit den primär durch Talsande geprägten Bereichen bilden sie ein sich oft stark verzahnendes Anordnungsmuster. Die Niederung gliedert sich in die Talaue und verschiedene Talsandareale, die mehrere Terrassen bilden. Häufig werden Auenbereiche von Talsanden inselartig durchstoßen. In einigen Bereichen sind die Talsande zu Dünen aufgeweht. Im westlichen Teil dominieren die Auenlehmlagerungen. Die Stärke der Auenlehmschicht schwankt zwischen 4 und 15dm, aber auch schmalere Bänder treten auf. Ansonsten sind Sand, Torf und Mudde die bestimmenden Substrate. Kennzeichnend sind auch wiederholte Substratwechsel. Das Landschaftsbild wird ergänzt durch zahlreiche Altarme, Schlenken und Lanken sowie durch flachgründige Niederungsseen.

Das Gebiet der Unteren Havel gehört zu einer über Jahrhunderte existierenden Überschwemmungslandschaft. Durch wasserbauliche Maßnahmen wurde die Überschwemmungsdynamik kontinuierlich verändert. Heute wird die Talaue bei Winterhochwasser unregelmäßig überflutet. Bis Mitte Mai zieht sich das Wasser von dort zurück. Lediglich Reste sammeln sich länger in kleineren Hohlformen. Durch das an der Oberfläche anstehende lehmig-schluffige Substrat ist zu beachten, dass die Versickerung stark eingeschränkt ist, so dass einige Flächen erst im beginnenden Hochsommer infolge Verdunstung frei von Wasser werden. Der Gang des oberflächennahen Grundwassers wird primär durch den Havelwasserstand beeinflusst. Die Differenz aus Höhenlage und Havelwasserniveau bestimmt den Grundwasserflurabstand. Aber selbst in überflutungsbestimmten Auenstandorten ziehen sich die sommerlichen Werte auf Abstände von 10 bis 12dm zurück. Sumpfige Areale mit sommerlichen Grundwasserständen von weniger als 4dm charakterisieren die rinnenförmigen Hohlformen und umrahmen die dort vorhandenen Sammelwasserstellen. Die Hydromorphiemerkmale bestimmen auch die pedologische Charakteristik. Sie reicht von vollhydromorphen über semihydromorphe bis zu terrestrischen Bodentypen. In der Aue treten dominant Auengleye (oft Pseudogley-Gleye) oder Niedermoore bzw. Niedermoorgleye auf. Die Bereiche der unteren Terrassen und Talsandinseln tragen verschiedene Gleybodentypen, die höheren Lagen und Dünenbereiche arme Braunerden und Podsole. Auf den Ländchen dominieren Braunerde- und Parabraunerde-Bodengesellschaften.

Das gemäßigte Klima Nordwest-Brandenburgs ist geprägt durch den Übergang zwischen ozeanischem Klima im Westen und kontinentalem Klima im Osten. Es ist humid und durch die zyklonalen Westwinde bestimmt. Wechsel zwischen Zyklonen und Antizyklonen sind genauso charakteristisch wie wechselnde Luftmassen an den Fronten. Somit unterliegt das Wetter einer auffälligen Varianz, die sich nur in langjährigen Mitteln ausgleicht. Mittlere Werte der Jahresdurchschnittstemperatur von 8,6°C und 550mm Jahresniederschlag können nur grobe Hinweise auf das tatsächliche Wettergeschehen geben. Maxima und Minima können oft erheblich abweichen.

Flora und Fauna sind oft entscheidende Faktoren für die Inwertsetzung von Niederungen. Sie stehen für Natürlichkeit, sind aber Anpassungsformen an die Kultivierung, Vorkommen und Verbreitung von Arten und Gesellschaften das Resultat anthropogenen Wirkens. So ersetzen die heute dominanten Grünlandgesellschaften die Niederungswälder der Auen, die nur noch sporadisch vorkommen.

Charakteristik der Nutzung der Unteren Havelniederung

Dass Niederungen interessante Nutzungsräume des Menschen sind, wurde bereits erwähnt. Dabei wurden Orte gesucht, die einerseits eine vielseitige Nutzung ermöglichten aber andererseits ausreichende Sicherheiten boten. Das sich ändernde Wechselspiel beider Aspekte bewirkte eine kontinuierliche Veränderung. Die Begriffe Hochwasserschutz, Wasserstraße, Polder, Torfstich, Melioration, Naturpark oder Vogelschutzgebiet stehen stellvertretend für Hunderte von Ansinnen und anthropogenem Wirken in die Niederung hinein.

Heute ist die Untere Havelniederung ein weit ausgeräumtes Areal. Als dominante Nutzungsfunktion hat sich die landwirtschaftliche Nutzung entwickelt. Viel wurde im Laufe der Jahrhunderte investiert, um das Potenzial für die landwirtschaftliche Nutzung auszuschöpfen. Man hat es bis zur intensiven Großraumwirtschaft gebracht, die eine Form der industriellen Großproduktion darstellt. Andere traditionelle Funktionen, wie Schifffahrt, Handel und Fischerei wurden mehr oder minder zurückgedrängt, ohne dass sie ihre Bedeutung völlig aufgegeben haben. Wieder andere versanken in Bedeutungslosigkeit (Nutzung der Wasserkraft für Energieerzeugung → z.B. Wassermühlen). Nutzungsformen des Wassers für industrielle Zwecke z.B. als Kühlwasser, Lösungs- oder Reaktionsmittel blieben auf Einzelstandorte begrenzt. Aber es wurden auch neue Ansprüche für die Niederung formuliert. Freizeit und Erholungsraum für den Menschen, Rückzugsraum für vom Aussterben bedrohte Arten, Schutz und Erhaltung bestehender Biotop. Begriffe wie Wiedervernässung, Biotopmanagement oder Renaturierung deuten auf Veränderungen in Form von Gestalten im Sinne der Natur, aber auch auf die Erkenntnis, Fehler gemacht zu haben. Wiedergutmachung setzt Zerstörung voraus.



Abb. 1: Das Gebiet der Unteren Havelniederung

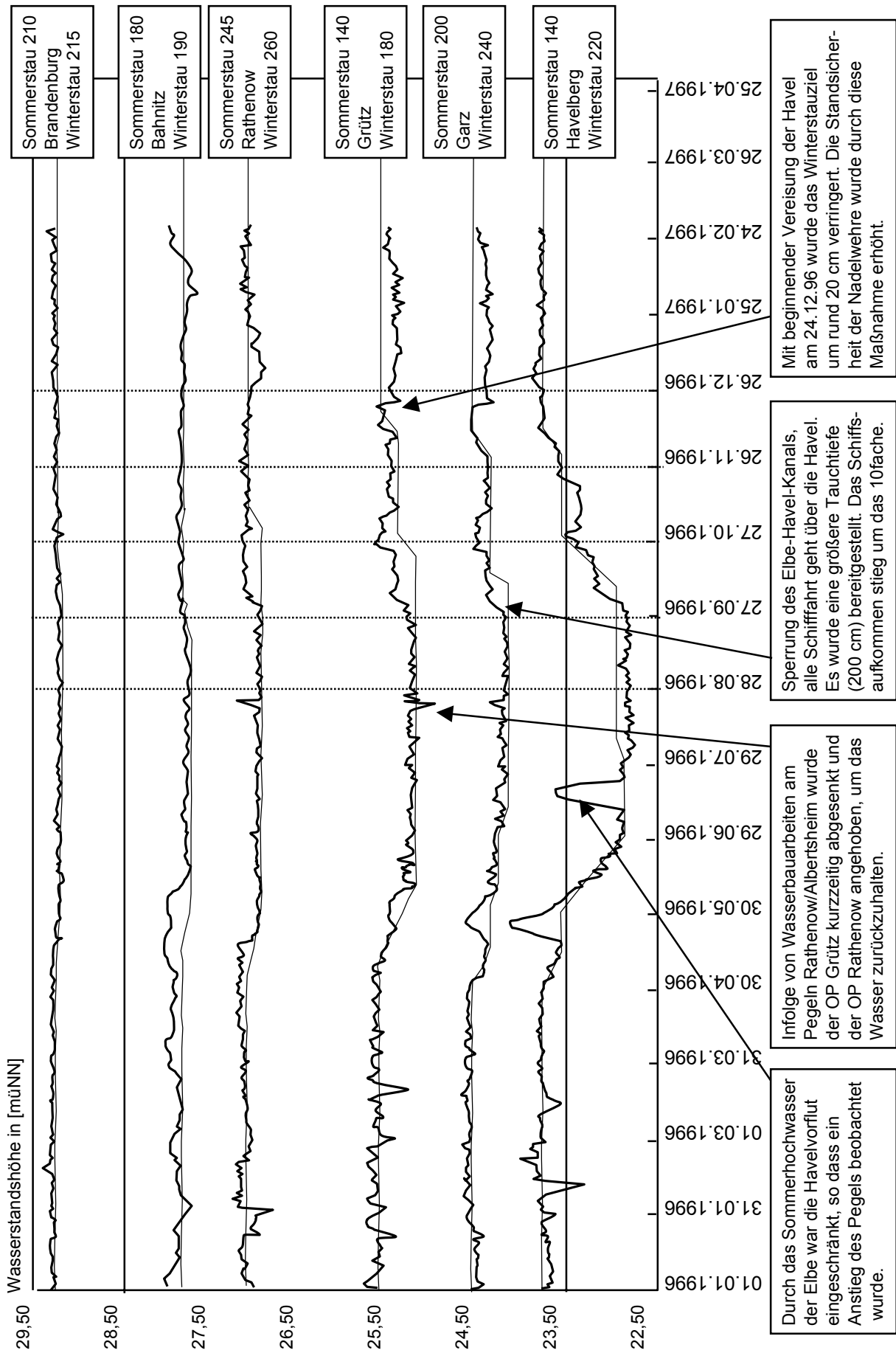


Abb. 2: Stauregulierung der Havel im Jahr 1996 (leicht verändert nach WSA Brandenburg, 1997)

Systematisiert man die aktuellen Nutzungsansprüche in der Unteren Havelniederung, so ergibt sich ein Wirkungsgefüge, das primär durch die Kategorien Landwirtschaft und Naturschutz geprägt wird. Weiterhin haben noch Binnenschifffahrt, Tourismus und Fischerei eine gewisse Bedeutung. Alle reflektieren auf das Wasser, aber jeder formuliert unterschiedliche Ansprüche. Sie unter einen Hut zu bekommen ist sehr schwer.

Diverse Agrargenossenschaften, der Naturpark Westhavelland, das Wasser- und Schifffahrtsamt Brandenburg, der Tourismusverband Havelland e.V. und viele andere stehen für das unterschiedliche Meinungsbild und dokumentieren die Flächennutzungsstruktur. Betrachtet man exemplarisch das Amt Rhinow, das als repräsentativ für das Gebiet der Unteren Havelniederung angesehen werden kann, so weist die Statistik nach Flächenerhebung 1993 durch das Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik ca. 67% landwirtschaftlich genutzte Flächen, 18% Waldflächen, 8% Wasserflächen, 5% Siedlungsflächen und 2% sonstige Flächen aus.

Die *Landwirte* betreiben eine Verbindung aus als intensiv zu bezeichnenden Bewirtschaftungen und extensiven, am Vertragsnaturschutz orientierten Formen. Je nach Lage der zur Bewirtschaftung zur Verfügung stehenden Flächen wird eine Grünlandbewirtschaftung im Mäh- und/oder Weidebetrieb bzw. Ackerbau betrieben. Im Gesamtbild dominiert die Grünlandwirtschaft, sowohl mit intensiver Milchviehwirtschaft bei Stallhaltung, als auch mit extensiver Mutterkuhhaltung im Weideumtrieb. In beiden Fällen ist die Bereitstellung von hochqualitativem Futter in ausreichender Menge Voraussetzung. Insbesondere durch die für die Flächen des Vertragsnaturschutzes bestehenden Regeln hinsichtlich Häufigkeit und Termin der Mahd, Düngung, Überflutungsdauer usw. bestehen für die Landwirte Einschränkungen. Ackerbau wird auf den oberen Talsandterrassen und den Grundmoränen der Ländchen betrieben. In den durch hohe winterliche Grundwasserstände gekennzeichneten Bereichen wird bevorzugt Mais angebaut. Ansonsten dominiert neben den Futterpflanzen das Wintergetreide (Roggen, Gerste, Triticale, Weizen) und Raps. Ergänzt wird das Bild von einigen Stilllegungsflächen. In der Niederung ist die Polderstruktur Basis der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung. Nahezu 87% der Polderflächen werden landwirtschaftlich genutzt.

Dem gegenüber steht der *Naturpark Westhavelland* für die Interessen des Naturschutzes. Eingebettet in die Naturparkkonzeption des Landes Brandenburg übernimmt er den großflächigen Schutz der Landschaftseinheit „Luch- und Niederungsland“. Mit einer Größe von 1 315km² ist er das größte Großschutzgebiet des Landes Brandenburg. Etwa 22% der Gesamtfläche sind Naturschutzgebiete, 68% nimmt das Landschaftsschutzgebiet ein. Hauptaufgaben sind der Biotop- und Artenschutz innerhalb der internationalen und nationalen Verpflichtungen im Rahmen der Ramsar-Konvention, der EG-Vogelschutzrichtlinie und der FFH-Richtlinie. Für den Feuchtgebietsraum betrifft dies z.B. primär die Sumpf- und Wasservögel (größtes mitteleuropäisches Rast- und Brutgebiet für Wat- und Wasservögel), Großtrappen sowie ein Spektrum von nahezu 970 stark gefährdeter und teilweise vom Aussterben bedrohter Arten. Das Spektrum der Zielformulierungen für den Naturpark verdeutlichen die folgenden beiden exemplarisch:

- Entwicklung der Havel zu einem naturnahen Tieflandfluss mit möglichst breiter Aue und einer ausgeprägten Dynamik
- Anpassung der Landnutzung an die besonderen hydrologischen Verhältnisse und naturschutzfachlichen Erfordernisse

Momentan werden die hydrologischen Verhältnisse im Gebiet primär durch den Status *Bundeswasserstraße* für die Havel bestimmt. Etwa 100 Flusskilometer im Landkreis Havelland sind Bundeswasserstraße und Landesgewässer, dazu kommen nochmals ca. 2 000km Gewässer zweiter Ordnung. Es gibt 20 Wehre in Landesgewässern und rund 1000 Stau in den Gewässern zweiter Ordnung, dazu 32 Schöpfwerke und 130km Deiche. All dies kennzeichnet die enorme wasserwirtschaftliche Substanz in der Region. Alle Bauwerke haben zunächst eine Hochwasserschutzfunktion. Im Winter/Frühjahr steht durch starke Niederschlagsüberschüsse und Rückstau der Elbe Land unter. Die Nadelwehre werden gelegt, der Fluss kann frei fließen. Demgegenüber besteht Wassermangel in den Sommermonaten, der sogar schon dahin geführt hat, dass Nadelwehre mit Folie abgedichtet wurden, um das Wasser zu halten und die festgelegten Stauziele zu gewähren. Bei zurückgehenden Wasserabflussmengen (lineare Tendenz Messstelle Rathenow/Albertsheim: 1966 → 3500hm³ auf 1997 → 2400hm³, bei $Q_{\max}=296\text{m}^3/\text{s}$ und $Q_{\min}=3\text{m}^3/\text{s}$) wird deutlich, dass das eigentliche Problem heute eher ein

Wassermangelproblem geworden ist. Der Status der Bundeswasserstraße erfordert die Einhaltung bestimmter Tauchtiefen, aber auch Flussbreiten und Begradigungen. Dazu wird viel Wasser benötigt. Verantwortlich für die Staumarken sind die Wasserbehörden mit ihren beratenden Staubeiräten. Im Bereich der Unteren Havel gibt es mehrere Beiräte, die auf verschiedenen Ebenen arbeiten. Von zentraler Bedeutung ist dabei der Staubeirat Untere Havel, wo Vertreter von Landwirtschaft, Fischerei, Wasser- und Schifffahrtsamt, Naturschutz, Tourismus, Anglerverband, Gemeinden, Umweltbehörden, Landesumweltamt und Wasser- und Bodenverbänden über die Staumarken beraten. Entsprechend den unterschiedlichen Vorstellungen und Zielen sind dabei Konflikte unvermeidlich und Kompromisse notwendig. Ihr Wirken hat sich aber bewährt.

Der *Tourismus* im Gebiet der Unteren Havelniederung steht vor einer ganz anderen Situation. Er muss sich etablieren und in der Konkurrenz mit anderen Regionen Brandenburgs behaupten. Das ist nicht leicht, aber es gibt günstige Rahmenbedingungen: eine abwechslungsreiche Landschaft, die das Niederung-Empfinden-Können bestens ermöglicht, vielfältige Möglichkeiten zum Beobachten und Kennenlernen von Flora und Fauna sowie historische Zeugen insbesondere aus der Zeit der Ostexpansion. Dazu kommen einige Zugpferde. Die Wirkungsstätten des Flugpioniers Lilienthal, der Ritter Kahlbutz zu Kampehl, das Haupt- und Landgestüt in Neustadt/Dosse oder der Dom und die Stadt Havelberg zählen dazu. Momentan kann die Situation folgendermaßen eingeschätzt werden. Der naturliebende Tourist, insbesondere wenn er faunistisch (meist ornithologisch) oder floristisch interessiert ist, kommt zu Tagesexkursionen, meist mehrmals im Jahr. Auswirkungen auf den Tourismus als Wirtschaftszweig hat dies nicht. Andere Touristen sind Wochenend- und Tagestouristen, die beschränkt die Tourismusbranche ankurbeln. Die dritte Gruppe bilden die naturverbundenen Erlebnis-touristen. Mit Paddel- oder Ruderboot, mit Rad oder als Wanderer erleben sie die Natur. Sie möchten aber ihrem Ansinnen entsprechend in der Natur bleiben und suchen nach Zelt- und Biwakplätzen usw. Der Besuch im Gebiet der Unteren Havelniederung gilt also vordergründig der Natur, deren Hauptkomponenten aufs engste mit dem Wasser verbunden sind.

Für die *Fischerei* bietet das Gebiet von jeher günstige Voraussetzungen. Der Gülper See als Flachsee im Mündungsbereich der Havel sowie die Havel mit den gut durchströmten Flussarmen, die Altwässer, das bei Hochwasser überflutete Grünland und die zahlreichen Gräben deuten die Möglichkeiten an. Die Fischgründe der Unteren Havel werden seit Generationen von den ortsansässigen Fischern genutzt. Die tendenzielle Entwicklung der letzten Jahrzehnte deckt zwei Probleme auf. Erstens ist ein deutlicher Rückgang der Anzahl der Fischereibetriebe festzustellen, was auf schlechtere Umstände schließen lässt. Zweitens gibt es eine Verschiebung des Artenspektrums von Quappe, Aal, Schleie, Hecht zu Blei, Güster und Zander. Eutrophierung, zu rasch abgesenkte Überflutungswasserstände auf den Wiesen im Frühjahr und die Zerstörung von Kiesbänken sind nur einige der zahlreichen kleinen Ursachen dafür.

Das hydrologische Regime im Bereich der Unteren Havel

Wie gezeigt werden konnte, sind alle Nutzungen eng mit dem Wasser verknüpft. Wie ist es nun um die hydrologische Situation im Gebiet der Unteren Havelniederung bestellt?

Die Havel, als Hauptfluss im Land Brandenburg, hat ein Einzugsgebiet von rund 24 000km². Sie hat eine Lauflänge von 325km und besitzt als Tieflandfluss ein geringes Gefälle (Quelle bei Pieversdorf 63m über NN, Mündung bei Gnevsdorf 22m über NN). Die große Anzahl der durchflossenen Seen sowie viele seenartige Erweiterungen oder Verzweigungen unterstreichen diesen Charakter. Als Tieflandfluss führt die Havel kaum Transportfracht. Die oftmals durch Sand geprägten Glazialgebiete und die zahlreichen im Ober- und Mittellauf eingelagerten Seen bewirken, dass im Unterlauf relativ klares Wasser fließt. Als Untere Havel bezeichnet man den Abschnitt zwischen Brandenburg und der Mündung in die Elbe. Dieser Bereich nimmt etwa 30% vom Gesamteinzugsgebiet ein. Er unterscheidet sich jedoch deutlich von Ober- und Mittellauf. Wasserstände und Abflüsse werden durch Stauhaltungen nachhaltig beeinflusst, zahlreiche kanalisierte Abschnitte kennzeichnen ihn. Die Niederung ist überwiegend melioriert.

Ursache dieser Besonderheiten liegen natürlich in der deutlichen anthropogenen Beanspruchung und den damit verbundenen Veränderungen. Sie haben aber auch eine natürliche Ursache, die primär darin liegt, dass etwa dieser Teil des Flusslaufes eigentlich ehemals mit der Elbe ein gemeinsames Strom-

system gebildet hat und das Elbewasser zumindest teilweise Abschnitte der jetzigen Havelniederung durchfloss. Die Beherrschung dieses Stromabschnittes bedurfte also größter Anstrengungen.

Die Regulierung des Abflusses im Bereich der Unteren Havel

Die anthropogenen Einflüsse auf die Untere Havel lassen sich bis in die Frühgeschichte zurückverfolgen und sind eng mit der Besiedlungsgeschichte in diesem Raum verknüpft. So können Einflüsse durch Rodungen (bes. zur Zeit der Ostexpansion unter Otto I. 936/973), Bau von ersten Hochwasserschutzdeichen an der Elbe (ab 1160), erste Ent- und Bewässerungssysteme sowie Teichwirtschaft und Wassermühlen (bes. Klostergründungen der Zisterzienser im 12./13. Jahrhundert) oder Kammerschleusen, Eindeichungen, Treidelbetriebe (bes. im 16./17. Jahrhundert zur Zeit der ersten Kolonisation) nachgewiesen werden. Entscheidend für das Gebiet an der Unteren Havel ist jedoch die Zeit nach 1718. Unter der Herrschaft von König Friedrich Wilhelm I. begann die Großmelioration des Havelländischen Luchs. Zwar gab es zunächst Schwierigkeiten und Verzögerungen, aber als erstes Bauwerk wurde der große Hauptgraben (heute Großer Havelländischer Hauptkanal) mit einer Länge von 51km schon ein Jahr später fertiggestellt. Bereits 1780 wird berichtet, dass die Länge aller Gräben sich auf 135 447 rheinländische Ruten (rund 510km) beläuft. Zur Erhaltung und Sicherung dieses „großartigen Kultivierungswerkes“ wurde bereits 1724 eine Graben- und Schauordnung vom König erlassen. Diese Maßnahmen waren zwar ein großer, aber nur ein erster Schritt zur vollständigen Melioration des Gebietes. Etwa 150 Jahre später gelangte man zu der Einsicht, dass nur durch eine verbesserte Vorflut der Unteren Havel das Wasser schneller abgeführt werden kann. Das Projekt von 1866, welches auf genauen jahrelangen Vorarbeiten gegründet wurde, stellte fest:

1. Die jährlich zwei- bis dreimal auftretenden Hochwässer, bedingt durch Einströmen von Elbfluten durch die Mündung bzw. durch Deichbrüche sollen durch eine Verlegung der Havelmündung von Havelberg nach Wittenberge verhindert werden.
2. Um die Wasserführung der Havel von Hochwässern zu entlasten, soll das Hochwasser der Spree auf kurzem und schnellem Wege über den Großen Hauptkanal über die untere Havel in die Elbe abfließen.
3. Das Hochwasser der Oberen Havel soll schnell und auf kurzem Wege durch die Rhinniederung zur Unteren Havel und in die Elbe abgeführt werden.
4. Es soll eine bessere Kontrolle der Stauhöhen der Mühlenanlagen an der Havel geben.
5. Jährlich wiederkehrende Auskrautungen der Havel sind durchzuführen.

Ziel war es, über ein größeres Gefälle eine höhere Abflussgeschwindigkeit zu erreichen. In der Folgezeit wurden diese damals aufgestellten Ziele schrittweise umgesetzt. Der Ausbau des Rhinkanals (1773-1778), die Vertiefung und Verkürzung der Fahrrinne der Havel (1870-1900), die Anlage von Staustufen in Bahnitz, Grütz und Garz als Nadelwehre mit Schleusen (1900-1914), der Ausbau der Alten Dosse und Jäglitz (1929-33), die Verlegung der Rhinmündung in die Dosse (1930-34), die Verbesserung der Vorflutverhältnisse im Havelmündungsgebiet durch die Flussvertiefung der Havel unterhalb von Garz, der Bau der Schleuse Havelberg, die Verlegung der Havelmündung bis Gnevsdorf verbunden mit dem Bau der Wehrgruppe Quitzöbel (1935-1954) und letztendlich die Komplexmelioration mit der Anlage vieler Polder mit Deichen, Entwässerungsgräben, Wehren und Schöpfwerken sowie einer Geländeneivellierung und der Schaffung großer Schläge (1965-1979) sind nur einige markante Wegsteine.

Aus dieser Entwicklung heraus ergibt sich die folgende aktuelle hydrologische Situation. Das Abflussverhalten der Havel bestimmt das Wasserregime im Niederungsgebiet. Der Abfluss der Havel wird durch die Wehranlagen nach vorgegebenen Stauzielen reguliert. Hochwässer der Elbe verhindern an der Havelmündung eine Vorflut, so dass das Havelwasser nicht abfließt. Der Rückstau kann bis weit ins Hinterland hinein reichen. Überhaupt haben alle Wasserstandsschwankungen aufgrund des geringen Gefälles der Unteren Havel von 0,02-0,06 Promille eine große Reichweite. In der Regel reichen die Stauwurzeln bis zur nächsten Wehranlage. Durch die Regulierungen geht die typische Auendynamik mit hohen Amplituden zwischen Niedrig- und Hochwasser weitestgehend verloren. Hochwässer werden meist kontrolliert abgeführt und Niedrigwässer auf ein Mindestniveau eingestellt,

manchmal fast bis zur Ausspiegelung. Der eigentliche Grundsatz: Überschwemmung im Winter und Trockenlegung im Sommer ist ersetzt worden durch die Auffassung: wenig Wasser im Winter und mehr Wasser im Sommer.

Gleiches trifft für die oft kanalisierten Havelnebenflüsse zu. Sehr geringes Gefälle, Abflussregulierung, sehr enge Eindeichung und fehlende Retentionsflächen führen zu gleichen Effekten. Die Polder und die Restflächen der Flussaue ergänzen das System. Einige der Polder sind in überregionale Hochwasserschutzkonzepte integriert und werden im Extremhochwasserfall, wie im August 2002, als Überflutungspolder genutzt. Da diese aber nicht mit Flutungsbauwerken versehen sind, musste man im Bedarfsfall einzelne Deichabschnitte sprengen.

Auf Grund der bereits erwähnten Vorflutbedingungen haben auch die Polder in jährlichen Hochwassersituationen unzureichende Entwässerungsmöglichkeiten im Freiabfluss. Zur Abhilfe wurde ein aktives Entwässerungssystem mit Schöpfwerken errichtet. Momentan werden diese aber kaum eingesetzt. Für die einzelnen Polder sind Stauziele vorgegeben, die oft durch die unterschiedlichen Zielvorstellungen (Stauhaltung, Schöpfen) von Landwirtschaft und Naturschutz umstritten sind und aus wechselnden Blickrichtungen manipuliert werden. Die Oberflächenwasserregulierungen bestimmen auch die Grundwasserdynamik. Verantwortlich sind die niederungstypischen glazifluvialen Sande mit ihrer hohen Wasserdurchlässigkeit. Sie bewirken eine lediglich geringe Verzögerung zwischen verändertem Wasserstand in der Havel und sich einpegelnden Grundwasserständen.

Nachfolgend sollen einige zeitliche und räumliche Aspekte zur hydrologischen Charakteristik des Gebietes vorgestellt werden.

Betrachtungen zu zeitlichen Aspekten der Wasserdynamik im Gebiet der Unteren Havel

Wenn bisher eher die Rahmenbedingungen für die Untere Havelniederung dargestellt wurden, soll nun auf die Dynamik des Wassers im Gebiet eingegangen werden. Grundlage dafür bilden hydrologische Kenngrößen für Grund- und Oberflächengewässer der Jahre 1995 und 1996. Erhoben wurden die Daten im Rahmen eines vom BMBF geförderten Forschungsprojektes zur Kennzeichnung räumlicher Unterschiede im Wassertransfer in Niederungen des mitteleuropäischen Binnentiefenlandes. So wurden an repräsentativen Standorten der Unteren Havelniederung eigene Grundwasser- und Stauwasserstandsmessungen mittels Piezometer durchgeführt. Die Erfassung der Messwerte erfolgte jeweils im Stundentakt. Hinzu kommen Pegelstandsmessungen für Grundwasser durch die damalige Naturschutzstation Parey und die ortsansässigen Boden-Wasser-Verbände sowie Pegelstandsablesungen für die Havel und ihre Nebenflüsse durch das Wasser- und Schifffahrtsamt Brandenburg bzw. die Unteren Naturschutzbehörden. Die Erfassungszeitpunkte besitzen hier jedoch teilweise Intervalle von bis zu 10 Tagen. Somit fließen Daten für 32 Grund- und 18 Oberflächengewässer für die beiden Jahre in die Betrachtungen ein.

Infolge der Stauregulierungen besitzen die Oberflächengewässer eine stark anthropogen gesteuerte Ganglinie. Exemplarisch soll das für das Jahr 1996 (Abb. 2) beschrieben werden. Es ist zunächst ersichtlich, dass die Stauziele zwischen Hochwasserstand im Winter und Niedrigwasserstand im Sommer an den unterschiedlichen Stauanlagen variieren. Stromabwärts wächst die Amplitude aufgrund des Elbeinflusses. Die deutliche Korrelation der tatsächlichen Wasserstände zu diesen Zielvorgaben ist zu erkennen. Es werden aber auch Abweichungen sichtbar. Diese werden einerseits durch witterungsklimatische Ereignisse, andererseits aber auch durch anthropogene Maßnahmen hervorgerufen (vgl. Abb. 2). Für viele Abschnitte des Jahres gilt aber, dass Stauziel und tatsächlicher Wasserstand ein hohes Maß an Übereinstimmung besitzen. Die Wasserstände der Havel bestimmen auch wesentlich das Abflussverhalten in den Nebenflüssen und -kanälen. Dort eingeleitete Regulierungen werden durch die Vorflut der Havel überprägt. Letztendlich mündet die Vorflut-Hierarchie Elbe → Havel → Nebenflüsse und Kanäle in der Polderentwässerung, wo die festgelegten Stauziele ebenfalls von der Vorflut beeinflusst sind. Die Abbildung 3 zeigt am Beispiel des Polders „Große Grabenniederung“ das Wirkungsgefüge zur Beeinflussung der Grundwasserdynamik. Sichtbar wird dabei, dass die gemessenen Grundwasserpegelgänge deutliche Bezüge zu den Wasserständen der Oberflächengewässer besitzen. Weitere Einflussgrößen sind die Niederschlagsmengen und -verteilungen sowie das gesamte naturräumliche Komponentengefüge. Exemplarisch soll dies verdeutlicht werden.

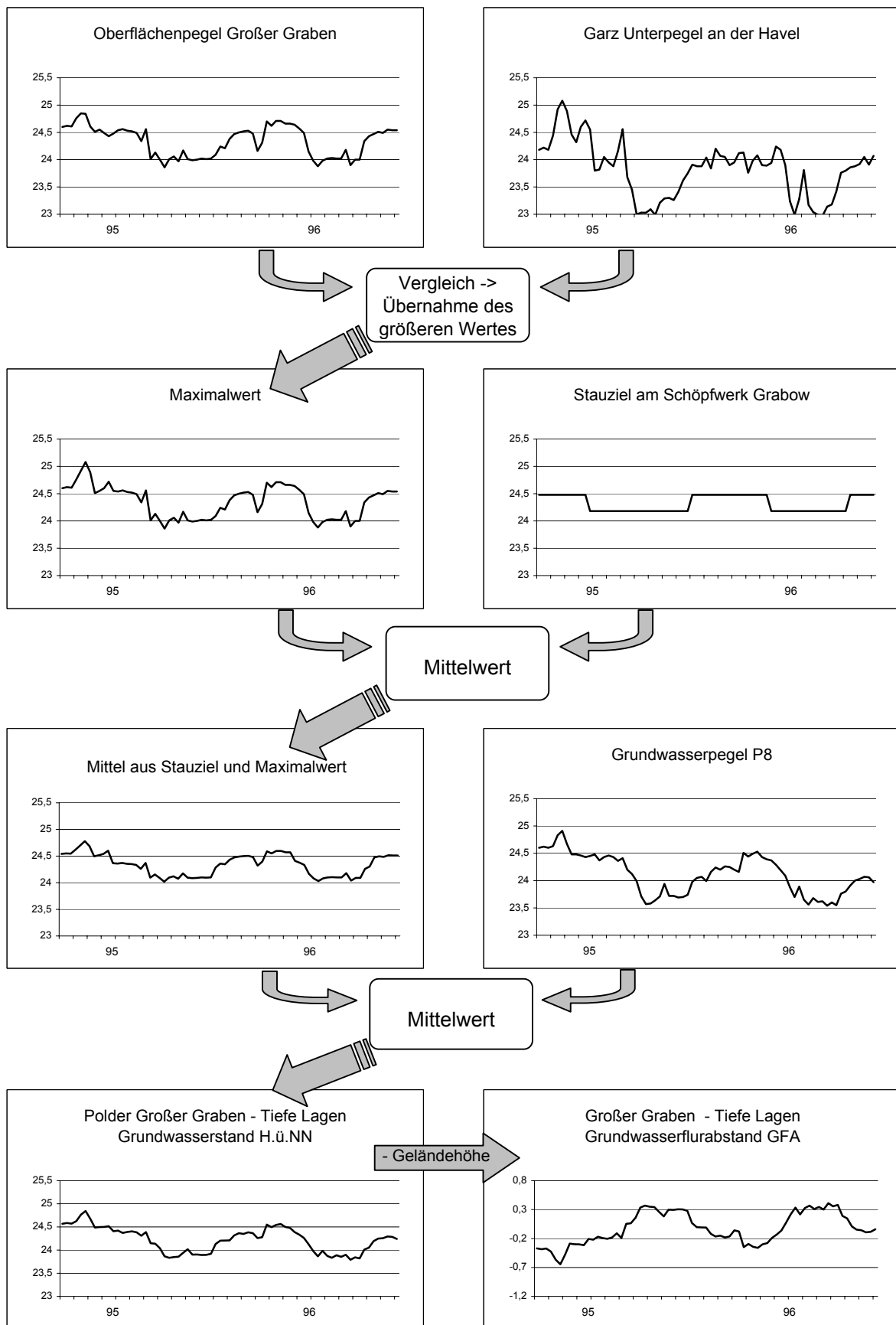


Abb. 3: Wirkungsgefüge der Grundwasserdynamik des Polders "Große Grabenniederung"

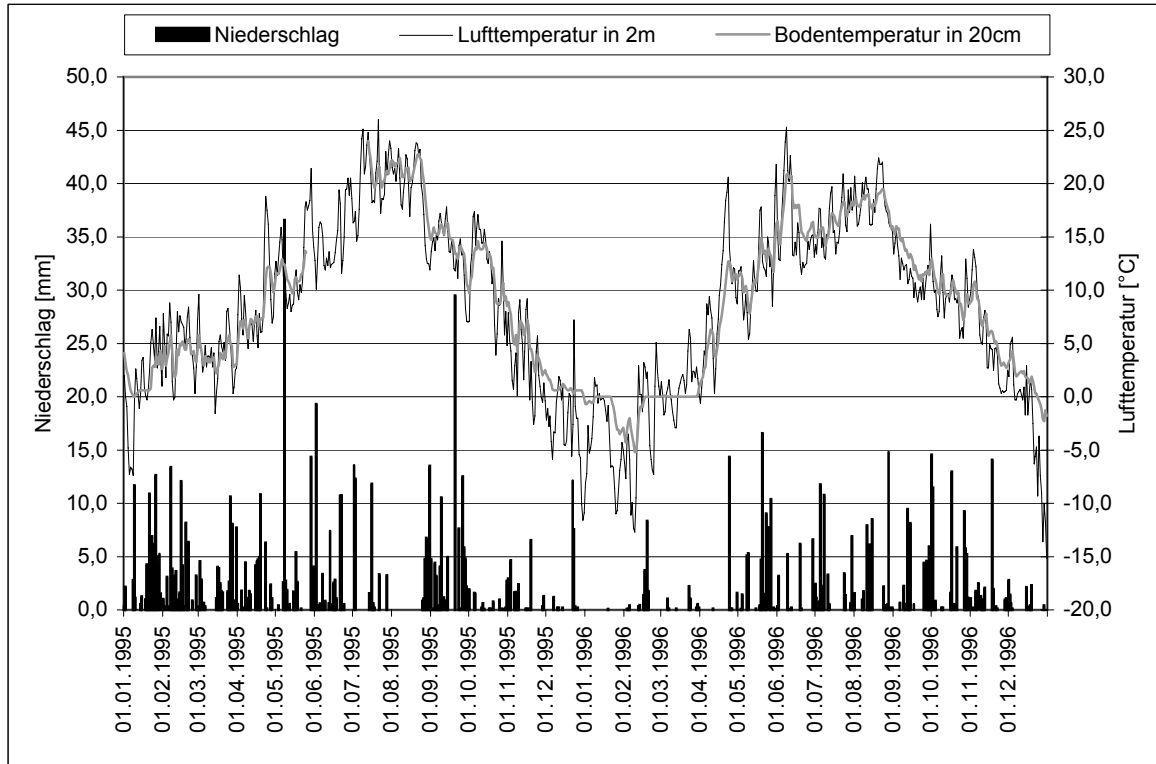


Abb. 4: Meteorologische Kennwerte der Station Gölpe für die Jahre 1995 und 1996

Um das Bedingungsgefüge darzustellen, sei zunächst auf die Niederschlagsverteilung verwiesen. Für die beiden Beispielsjahre unterscheiden sich die meteorologischen Kennwerte deutlich. Bereits ein Vergleich der Jahresdurchschnittswerte zeigt, dass das Jahr 1995 mit warm und feucht (9,3°C, 631mm) und 1996 mit kühl und trocken (7,5°C, 377mm) bezeichnet werden kann. Die Abbildung 4 verdeutlicht diese Unterschiede im Jahresverlauf. Im Jahr 1995 liegen die Tagesmittel der Temperaturwerte im Frühjahr selten unter 0°C. Werte um 5°C herrschten bis Anfang Mai vor. Niederschläge fallen regelmäßig. Vergleicht man dies mit den Werten aus den gleichen Monaten des Jahres 1996, so dominieren dort Werte unter 0°C. Werte unter -10°C werden mehrfach erreicht und zeitweilig unterschritten, Werte über 0°C treten erst ab Mitte Februar auf und werden bis in den April hinein immer wieder von Frostabschnitten unterbrochen. Bis auf einen kurzen Abschnitt in der Mitte des Februar ist der Winter sehr trocken. Das Frühjahr ist in beiden Jahren die Jahreszeit mit kurzfristigen aber beträchtlichen Temperaturschwankungen. 1995 schwankt auch noch die Niederschlagsverteilung. Trockene Abschnitte sind dem eigentlich regelmäßig feuchten Frühjahr aber nur gelegentlich dazwischengeschoben. So wechseln trocken/kalte (Anfang März), feucht/kalte (Ende März), feucht/warme (Mitte Mai) und trocken/warme Abschnitte (Ende Mai). Dagegen ist das Frühjahr 1996 trocken und erst ab Mai treten nennenswerte Niederschläge auf, die sich besonders am Ende des Monats häufen. Der Sommeranfang 1995 ist kühl und feucht, erst ab Mitte Juli treten gehäuft Tagesmittel über 20°C auf. Dieser Abschnitt des Jahres ist auch meist sehr trocken. 1996 werden Anfang Juni die höchsten Temperaturen dieses Jahres gemessen. Obwohl einzelne Niederschlagsereignisse auftreten, gehört diese Zeit zu den trockenen Abschnitten des Sommers. Die Temperaturen fallen anschließend auf Werte deutlich unter 15°C und steigen nur zögerlich auf Werte über 20°C im August. Niederschläge fallen regelmäßig bis in den späten Herbst hinein und verweisen zusammen mit den Temperaturwerten auf einen anhaltenden zyklonalen Einfluss für den Sommer und Herbst 1996. Der Herbst 1995 ist dagegen zweigegliedert. Einem feuchten und kühlen September folgt ein warmer und niederschlagsarmer Oktober. Weiterhin unterscheiden sich die beiden Jahre zum Jahresende hin durch die Art des Temperaturrückgangs. Die Schwankungsamplituden sind 1995 im Vergleich zu 1996 deutlicher ausgeprägt. Der Dezember 1995 hat mit einem Maximalwert von 7,2°C und einem Minimalwert von -11,6°C die größte Schwankungsbreite aller Monate des Jahres. Er ist bereits niederschlagsarm. Temperaturen oft deutlich unter der Nullgradgrenze charakterisieren den Monat. Dagegen besitzt der Dezember 1996 eine milde und feuchte erste Hälfte mit Temperaturwerten meist über 0°C und eine sehr kalte und trockene zweite Hälfte, wo die Tagesmitteltemperaturen bis nahe an -20°C fallen.

Kann diese meteorologische Charakteristik als gültig für das gesamte Gebiet an der Unteren Havel angenommen werden, müssen für eine differenzierte Betrachtung der Grundwasserdynamik weitere Naturraumkomponenten herangezogen werden. So beeinflussen die Nähe zum Vorfluter, die relative Höhe zum Vorfluter, die vorherrschenden Substrate oder die Bewirtschaftungsdynamik die Grundwasserdynamik mit. Abbildung 5 zeigt ausgewählte Grundwassergänge im Untersuchungsgebiet, Abbildung 7 markiert ihre Lage.

Der havelnahe Standort AUE1 ist in seiner Ganglinie dem Wasserstand der Havel (Oberpegel Garz) am deutlichsten angepasst. Die Wasserschwankungen besitzen jedoch kleinere Amplituden und treten geringfügig verzögert auf. In der Phase des Winterhochwassers nähern sich beide Wasserstände nahezu an, während in der Zeit der Wasserstandabsenkung im Frühjahr die deutlichsten Unterschiede sichtbar werden. Die Hochwässer der Havel im Dezember und Mai bilden sich gut ab. Niederschlagsereignisse, selbst langanhaltende und ergiebige, bilden sich nur schwach ab. Ursache dafür sind die Decklehme, welche die Niederschläge stauen und eine Infiltration stark verzögern. Auch der durch Talsande gekennzeichnete Standort TR2 hat in seinen Merkmalen einen klaren Bezug zur Havel (Oberpegel Garz und Gülper Havel). Er liegt ebenfalls innerhalb der Flussaue. Noch deutlicher folgt er in seiner saisonalen Ganglinie den Stauregulierungen. Verantwortlich sind dafür die besseren Strömungsverhältnisse in den Sanden. Gleichzeitig haben aber auch markante Niederschlagsereignisse im Winter einen sichtbaren Einfluss auf den Grundwasserstand. Im Sommer erreicht das Sickerwasser das abgesunkene Grundwasser kaum. Die Pegelmessungen an den Standorten Gn91 und Gn100 verweisen auf eine enge Korrelation zum Unterpegel Garz. Während der havelnähere Standort schneller den Regulierungen folgt und eine große Amplitude zwischen Winter und Sommer besitzt, hat der entfernter von der Havel liegende Standort im Sommer einen um ca. 40cm höheren

Wasserstand und erreicht zeitverzögert erst am Ende des Winterstaus seinen Höchststand. Die frühsummerliche Absenkung bildet sich für beide Standorte schnell und deutlich ab. Repräsentanten für die Grundwasserdynamik im Polder Große Grabenniederung sind die Standorte GnA (mittlere Lagen), P8 (tiefe Lagen) und OHV18 (hohe Lagen). Während der Standort GnA gut die Stauhaltungsregulierung für die Große Grabenniederung am Gülper Wehr widerspiegelt (aus Gründen des Naturschutzes werden die Wasserstände im Frühjahr lange hochgehalten und ab Mitte Mai in zwei Schritten schnell abgesenkt, um eine Bewirtschaftung zu ermöglichen), modifizieren die Standorte P8 dies für die tiefen bzw. OHV18 die hohen Lagen. Tiefe Lagen entstehen durch Moorsackungen und erzeugen neben ganzjährig hohen Grundwasserständen einen Waschsüsseffekt. So haben hier speziell im Sommer neben den Regulierungsmaßnahmen am Gülper Wehr Niederschlagsereignisse einen deutlichen Einfluss auf den Grundwasserstand. In Zeiten der Anhebung und Absenkung der Pegelstände sowie im Winter werden sie überlagert. Der Standort OHV18 hat, bedingt durch die hohe Geländelage nur noch für die Zeit der hohen Wasserstände von November bis April einen ähnlichen Verlauf des Grundwasserstandes wie die Schwankungen im Vorfluter. Im Sommer stellt sich eine kontinuierliche, allmählich fallende Tendenz ein, wo nur langanhaltende starke Niederschlagsereignisse einen Gegenimpuls bewirken. Eingepolderte höhere Talsandlagen sind durch OHV18 charakterisiert. Der Messpunkt P7 repräsentiert Einzugsbereiche der Dosse. Neben der Beeinflussung durch die Vorflut in die Havel kommen bei der Dosse eigene Regulierungen zum Ausdruck. Der Wasserstand der Dosse wird weniger durch einen Sommer-Winter-Rhythmus geprägt. Die Regulierungsmaßnahmen zielen auf eine möglichst gleiche Wasserhaltung. Dies kann je nach Lage Abführen oder Rückhalten bedeuten, was sich zum Teil in kurzfristigen Regulierungen niederschlägt, die eher auf Kappen von Hochwasserständen und Verhindern von Niedrigwasserständen zielen. Dadurch wird die Schwankungsamplitude geringer, aber die Regulierungen und auch Niederschläge bewirken kurzzeitige Schwankungen. Die beiden Messstandorte P5 und NWI charakterisieren die Rhin-Einzugsbereiche im Gebiet der Unteren Havelniederung. Die Grundwasserdynamik lässt Bezüge zu den Niederschlägen erkennen. Dies wird indirekt über die Wasserstände des Rhin vermittelt, der selbst auf markante Niederschlagsereignisse in seiner Wasserführung reagiert. Zusätzlich macht sich die Nähe des Ländchens Rhinow (beständiger Zustrom durch das Grundwasserspiegelgefälle) für die beiden Pegel bemerkbar. Auch wirkt sich bei P5 die unmittelbare Nähe des Gülper Sees aus, der zusätzlich Wasserstandsschwankungen ausgleicht. Beide Standorte sind dem Ländchen zugewandt. Der Pegel OHV15 liegt auch im Einzugsbereich des Rhin, aber auf der dem Ländchen abgewandten Seite. So ist er deutlicher durch die Wasserstände des Rhin gekennzeichnet und besitzt vor allem eine ausgeprägtere Amplitude. Völlig anders zeigen sich die Grundwasserstände auf den Ländchen. Für den Pegel OHV16 auf dem Ländchen Rhinow ist ein ausgeglichener Stand typisch. Die hohen Grundwasserflurabstände lassen kaum einen unmittelbaren Einfluss von Niederschlägen erkennen. Ebenso ist kein direkter Bezug zu den Vorflutern der Niederung zu erkennen. Die Pegelmessungen zeigen lediglich tendenzielles Verhalten zu langandauernden Witterungsperioden. Ähnliches deutet sich bereits, natürlich in merklich abgeschwächter Form für höhere Talsandlagen an. So zeigt der Standort OHV23 im Bereich der Talsanddünen nur noch schwach die niederungstypische Dynamik (Rhin) bei deutlichem Flurabstand. Insgesamt bleiben aber auch in solchen Lagen die Amplituden ausgeglichen und mit Bezügen zu auffälligen Witterungsperioden.

Neben den saisonalen Schwankungen konnten auch tägliche Rhythmen aus den Grundwasserpegelmessungen erkannt werden (vgl. Abb. 6). Sie tragen sowohl eine standortspezifische als auch eine witterungsklimatische Komponente. So zeigen die für die zyklonal geprägte Westwindzirkulation typischen Witterungserscheinungen die folgenden Tagesschwankungen:

- Für Auenstandorte (z.B. AUE1) prägt sich ein Tagesgang am deutlichsten in trockenen und warmen Witterungsabschnitten heraus. Von hohen, relativ stabilen Pegelständen in den Nachtstunden fallen ab vormittags die Pegelstände kontinuierlich und unterschreiten am Nachmittag mit ca. 7cm die Höchstwerte der Nacht. Ab ca. 16.00 Uhr steigen die Werte wieder kontinuierlich auf ihr Ausgangsniveau, dass ab ca. 21.00 Uhr erreicht wird. Ein ähnlicher Verlauf, aber mit geringerer Tagesamplitude (max. 3cm), kann bei trocken-kalter Witterung beobachtet werden. In feuchten Witterungsabschnitten folgen die Werte nicht einem Tag-Nacht-Zyklus, der durch Einstrahlungsunterschiede und die damit verbundenen Evapotranspirations- und Temperaturschwankungen begründet ist. Bei feucht-kalten Wetterlagen sind die

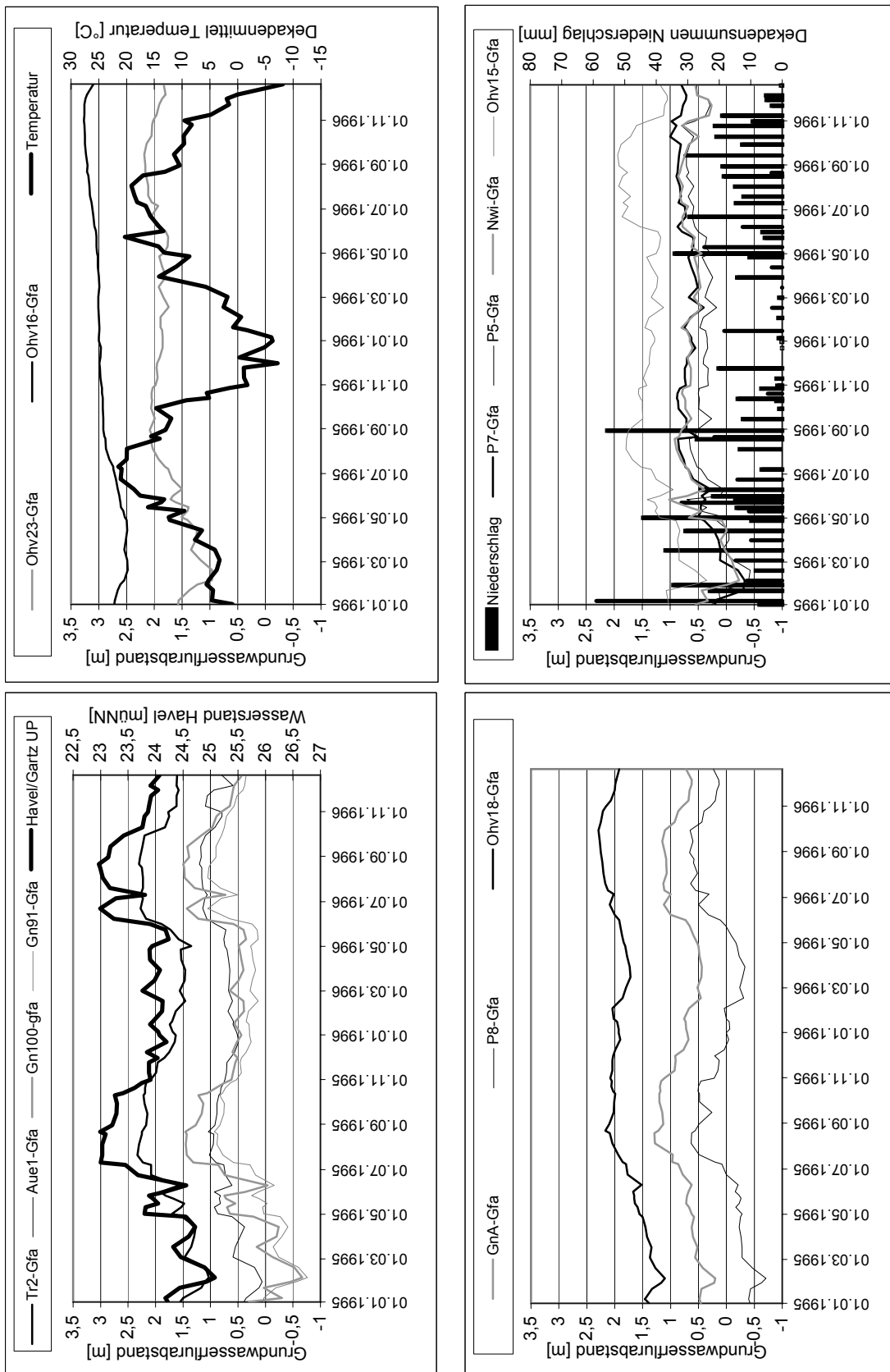


Abb. 5: Standortsspezifische Pegelgänge des Grundwassers

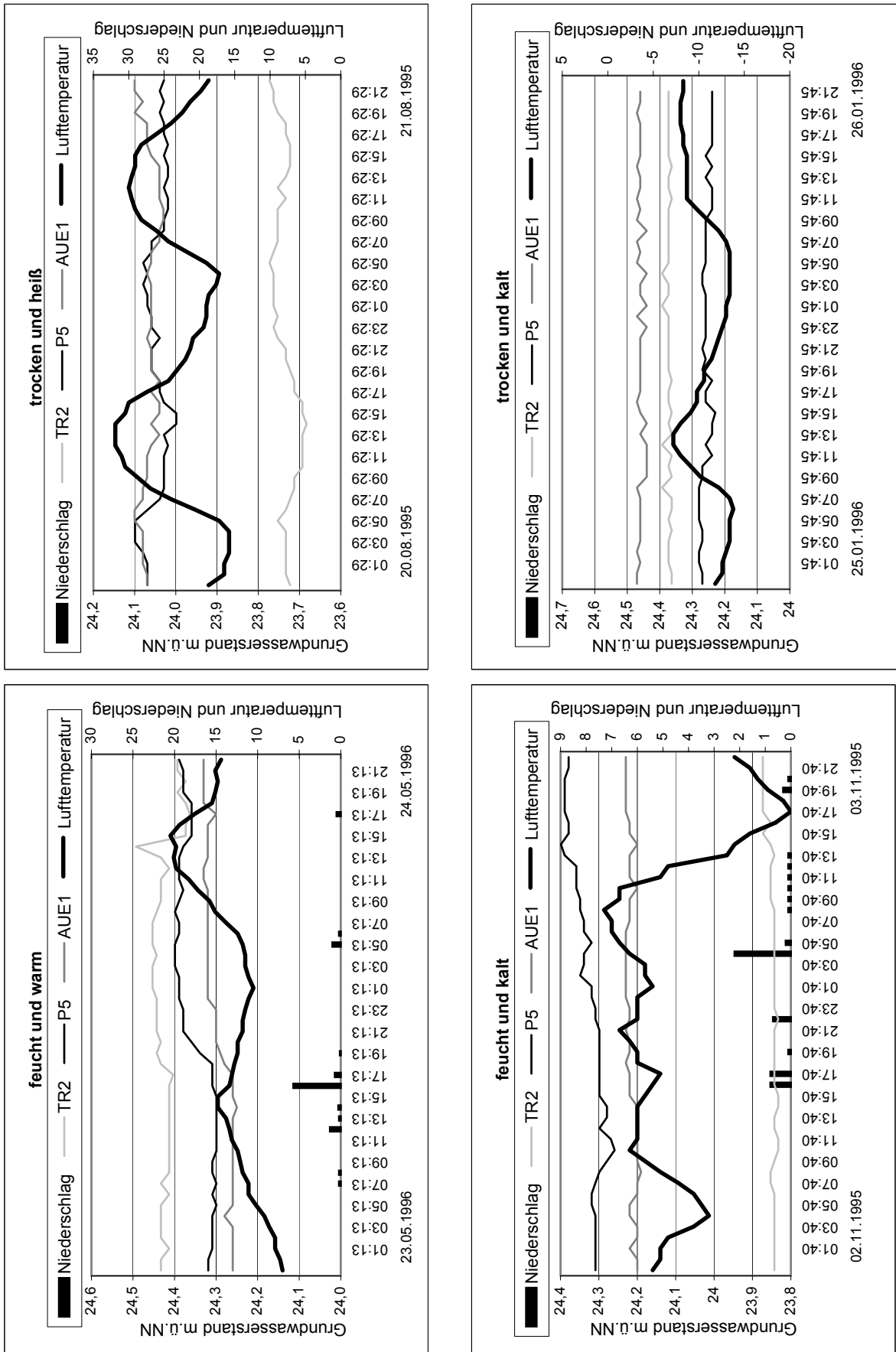


Abb. 6: Tagesschwankungen im Grundwassergang für ausgewählte Wetterlagen

Werte nahezu stabil. Bei feucht warmen Wetterlagen bauen sie zwar einen Tag-Nacht-Rhythmus mit schwacher Amplitude auf, dieser wird aber deutlich durch größere Niederschlagsereignisse überlagert, die zu einem ca. drei Stunden zeitverzögerten Anstieg der Pegelwerte führen.

- Für durch Talsande geprägte Standorte (z.B. TR2) modifiziert sich das Verhalten infolge der spezifischen Durchströmungseigenschaften der Sande. In den Tagesgängen reagiert das Substrat Sand anders als die Auenlehmstandorte. Dies zeigt sich insbesondere in deutlicher ausgeprägten Tagesamplituden bei trocken-warmer Witterung (ca. 10cm). Im Gegensatz zu den Lehmstandorten reagieren die Sandstandorte über den Temperaturbezug auch unmittelbarer. Bei trocken-kalter Witterung hält sich der Pegelstand stabil. Bei feuchten Perioden ist ein Bezug zu Niederschlagsereignissen herzustellen. Schneller als bei anderen Standorten schlagen sie sich in einer Erhöhung der Pegelstände nieder. Die Veränderungen fallen betragsmäßig aber nicht höher aus als die für die auenlehmgekennzeichneten Standorte.
- Noch anders reagieren durch Torf gekennzeichnete Standorte (z.B. P5). Deutlicher korrelieren die Wasserstände beim Standort P5 mit den Niederschlagsereignissen. Insbesondere in den Wintermonaten, wo der Torfkörper durch die oberflächennahen Grundwasserflurabstände gut wassergesättigt ist, reagieren die Wasserstände sensibel auf Niederschlagsereignisse. Dies bildet sich im Tagesrhythmus der Pegelwerte ab. In feuchten Witterungsabschnitten sind zwar Tagesgänge nicht ersichtlich, aber Niederschläge führen wenn auch mit geringer Zeitverzögerung zu deutlichen Änderungen in den Grundwasserständen. Bei trockenem Wetter bildet sich dagegen ein Tageszyklus ab. So fallen die Werte in den Vormittagsstunden rasch und erreichen am Nachmittag ihren tiefsten Stand (ca. 10cm Unterschied). Zur Nacht hin steigen die Werte wieder in die Nähe ihres Ausgangsniveaus.

Diesen festgestellten Tagesschwankungen des Grundwasserstandes muss zukünftig mehr Beachtung als Informationsquelle zur Abschätzung der Verdunstung geschenkt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es für die Untere Havelniederung sowohl eine jährliche als auch tägliche Dynamik der Grundwasserstände gibt, die durch ein komplexes Wirkungsgefüge bedingt wird. Während die jährliche Rhythmik primär über die Vorflut bestimmt wird und diese in starkem Maße anthropogene Züge trägt, spielen für tageszeitliche Schwankungen aktuelle Wetterlagen die zentrale Rolle. Nur in Stabilitätsabschnitten des Jahresrhythmus können Tagesgänge erkannt werden. In Anhebungs- und Absenkungsperioden überlagert der Jahresgang den Tagesgang. Weiterhin konnte eine standortspezifische Abhängigkeit für die Grundwasserdynamik erkannt werden. Dies führt zur Notwendigkeit räumlicher Differenzierungen. Sie sollen im nachfolgenden Abschnitt diskutiert werden.

Betrachtungen zu räumlichen Aspekten der Wasserdynamik im Gebiet der Unteren Havel

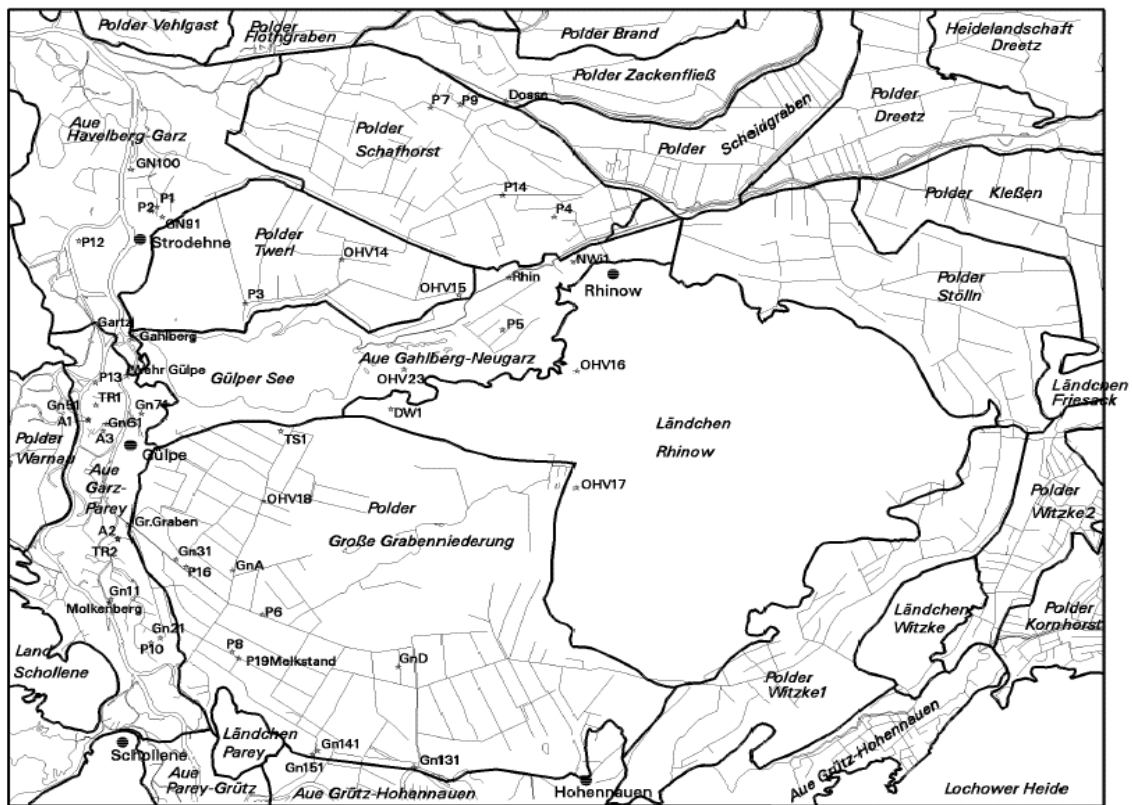
Der Schritt von den standpunktbezogenen, gemessenen Daten zu raumbeschreibenden Betrachtungen ist seit jeher als schwierige Aufgabe gebietsbezogenen Arbeitens bekannt. Gelöst werden kann das Problem einerseits durch Kartierungen, die wesentliche Fragen der Flächenrepräsentanz und von Modellierungsvarianten berücksichtigen müssen. Immer öfter wird diesbezüglich aber auch auf Fernerkundungsdaten zurückgegriffen, die neben ihrer Raumauflösung insbesondere für zeitabhängige Aussagen genutzt werden können. Beide Quellen wurden zur Einschätzung des Raumbezuges der Hydrodynamik im Gebiet der Unteren Havel herangezogen. Die Kartierung berücksichtigt folgende Einflussfaktoren:

- Polderstruktur der Niederung und Staustufen der Havel
- Wasserstände und Wasserganglinien der Hauptvorfluter
- Stauhaltung am Poldereinlass
- Stauhaltung am Schöpfwerk
- Standorttypischer Grundwassergang
- Höhenlage des Standortes

Aus den hydrologischen Parametern wurde durch einen Algorithmus (vgl. Abb. 3) eine potentielle Wasserstandskurve konstruiert. Dabei musste zunächst der Einfluss der Höhenlage durch einen auf null verschobenen Mittelwert ausgeschaltet werden. Primär sind die Polder und die durch Wehre gegliederten Flussabschnitte als grenzbildend angesehen worden. Sekundär wurden naturräumliche Einheiten verwendet. Sie wurden aus Höhenlagen abgeleitet und sind über potentielle Grundwasserstände mit den kartierten Böden verknüpft. Den Leitböden wurden mittlere Grundwasserflurabstände zugewiesen. Die Verteilung der Böden erfolgte über die Höhenlage. So konnten die hydrodynamischen Einheiten im Untersuchungsgebiet verteilt werden (vgl. Abb. 7). Gut zu erkennen ist zunächst die anthropogen bedingte Grundstruktur durch die Polder und Staue. Innerhalb dieser wird dann, entsprechend der Höhenverhältnisse, nach hohen, mittleren und tiefen Lagen unterschieden. Die Niederung kann so über die Berücksichtigung natürlicher und anthropogener Merkmale in Raumeinheiten gegliedert werden, in denen ähnliche hydrodynamische Eigenschaften zu erwarten sind.

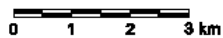
Einen zweiten Aspekt einer raumbezogenen Betrachtung bildet die Kartierung der Überflutungsdynamik. Hier erweisen sich Satellitenbilder als sehr hilfreich, da sie das Ausmaß der von Überflutungen betroffenen Flächen markieren und einen Raum-Zeit-Bezug herstellen. Die Abbildung 8 stellt einige Satellitenbildszenen für das Untersuchungsgebiet für den Untersuchungszeitraum 1996 vor. Es handelt sich um Landsat-TM-Szenen. Im Februarbild sind die überfluteten und größtenteils vereisten Überflutungsflächen gut zu erkennen. Im Wesentlichen sind es Flächen innerhalb der Havelaue, was auf die natürlich erhöhten Havelwasserstände hinweist. Besonders betroffen ist einerseits der Abschnitt zwischen Hohennauen und Molkenberg und andererseits der Bereich stromabwärts von Strodehne, speziell im Zuflussbereich der Dosse. Der Abschnitt zwischen Molkenberg und Strodehne, wo die Havel in zwei Hauptströmen, der Haupthavel und der Gülper Havel, fließt, ist weniger betroffen. Auch das „Loch“ in der Großen Grabenniederung ist nur in den zentralen Teilen mit Wasser (Eis) bedeckt. Zwischen den Wehren Grütz und Garz ist also noch ein ausreichendes Gefälle vorhanden und über die Gülper Havel wird Wasser zum Unterpegel Garz geleitet. Im Satellitenbild vom April sind die Überflutungsbereiche unterhalb von Strodehne und oberhalb von Molkenberg innerhalb der Aue bereits kleiner, obwohl immer noch beträchtliche Teile überflutet sind. Auffällig ist die Zunahme von Überflutungsflächen dagegen für die Abschnitte an der Gülper Havel und in der Großen Grabenniederung. Verantwortlich ist dafür ist nicht etwa ein markant gestiegener Havelwasserstand (vgl. Abb. 2), sondern ein absichtliches Rückstauen des Abflusses der Gülper Havel am Gülper Wehr. Dies bewirkt, dass über die Gülper Havel Flächen der Aue besonders entlang der Gülper Havel überfluten und dass bei geöffnetem Wehr am Polder Großer Graben Wasser in den Polder gedrückt wird und die durch Moorsackung entstandene Senke großflächig füllt. Im Junibild ist zu erkennen, dass die größten Teile der überfluteten Flächen trocken sind. Nur zwei Gebiete fallen noch als großflächig überflutet auf. Es sind einerseits die Unterlaufbereiche, wo durch Elbhochwasser Ende Mai/Anfang Juni ein Rückstau erfolgte. Andererseits ist es die Große Grabenniederung, wo aus der „Schüssel“ kein natürlicher Abfluss besteht und die Wasserflächen, da zum Grundwasser hin die Auenlehme abdichten und Infiltration minimieren, verdunsten müssen. In der Großen Grabenniederung stehen die Wasserflächen häufig bis zum beginnenden Hochsommer bis Anfang Juli. Einen guten abrundenden Vergleich liefert das Satellitenbild vom Oktober. Obwohl der Winterstau eingestellt wird sind im gesamten Gebiet so gut wie keine überfluteten Flächen zu erkennen. Die Phase des herbstlichen Wassermangels wird offensichtlich.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die anthropogenen Stauregulierungen und die Polderbewirtschaftung primär die Verteilung des Oberflächen- und Grundwassers im Gelände bestimmen. Bei mittleren und auch leicht erhöhten Wasserständen kann das Wasser zielgerichtet ab- und geleitet werden. Eine zwingende Überflutung im Auenbereich ist meist kurzzeitig und an Hochwasserwellen gekoppelt. Viele Niederungsbereiche werden so gut wie nicht mehr überflutet.



▬ Flüsse/Gräben

* Punkte des hydrologischen Meßnetzes



Polder/Auen:
 hohe Lage
 mittlere Lage
 tiefe Lage

□ Ländchen

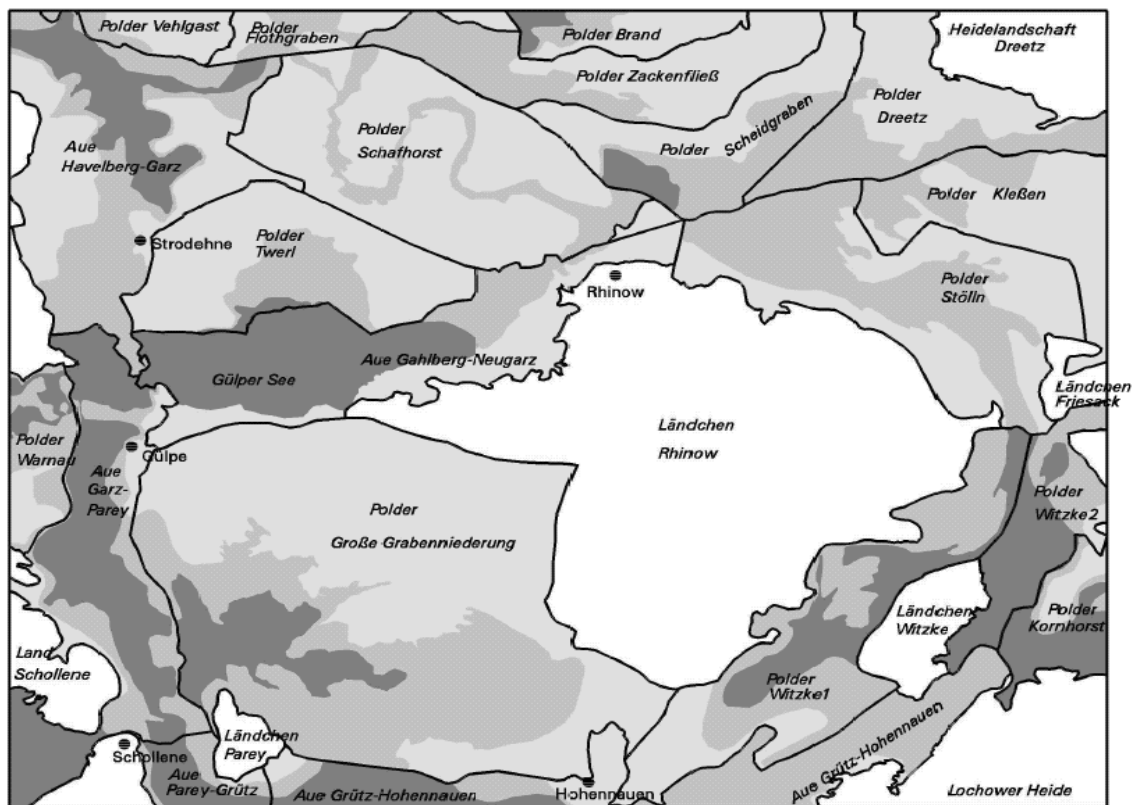
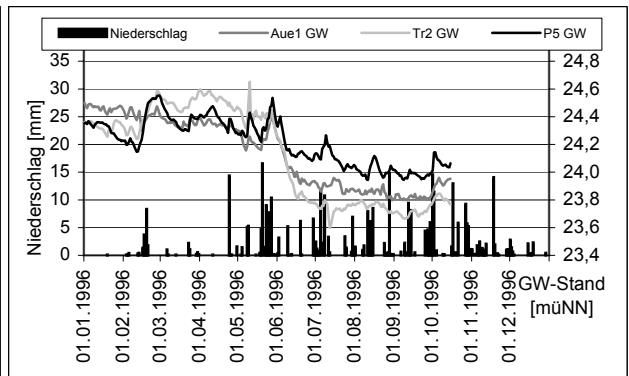
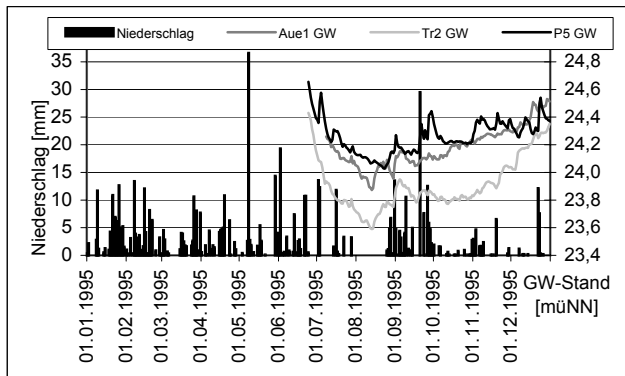
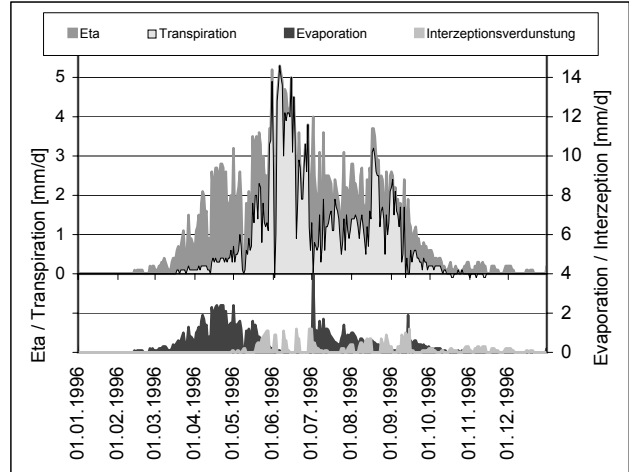
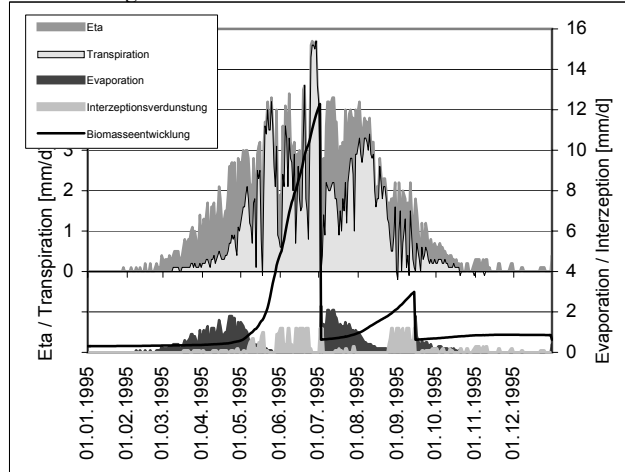


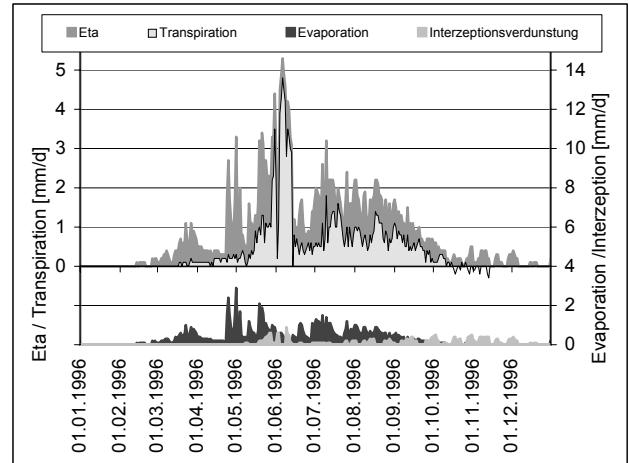
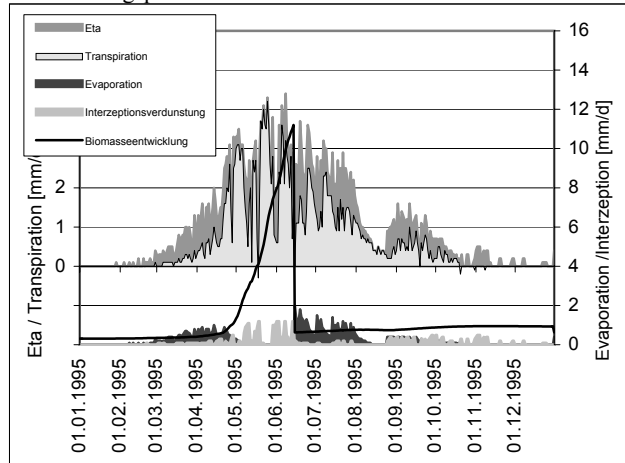
Abb. 7: Karten des Gewässernetzes und der Hydrodynamik



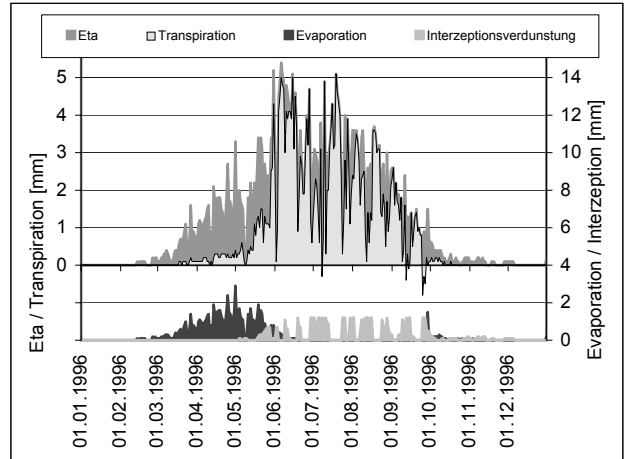
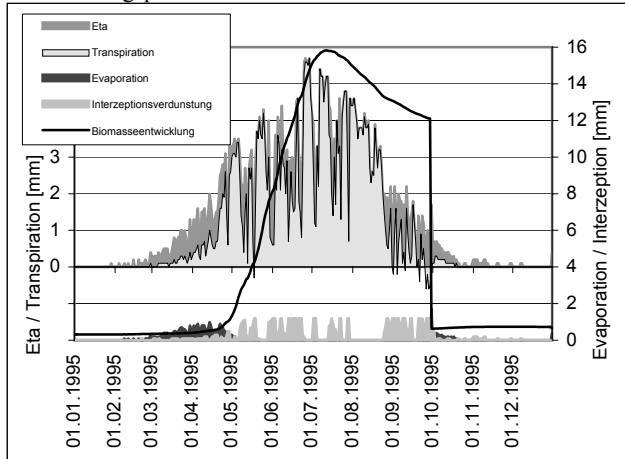
Niederschlag und Grundwasserstand in den Jahren 1995 und 1996



Verdunstungsparameter AUE1



Verdunstungsparameter TR2



Verdunstungsparameter P5

Abb. 9: Modellierete Verdunstungsparameter für Niederungsstandorte

Der Einfluss der hydrologischen Verhältnisse auf den Wassertransfer zwischen Boden, Pflanze und Atmosphäre

Möchte man die Komplexität der Zusammenhänge darstellen, muss man sowohl die Einflüsse der Natur als auch des Menschen auf das hydrologische Regime berücksichtigen, denn beide Teile beeinflussen das Bedingungsgefüge. So stehen natürliche Kompartimente und die Bewirtschaftung gemeinsam im Mittelpunkt bei der Modellierung niederungstypischer Wasserkreisläufe.

Das Wasser in der Niederung begegnet uns am auffälligsten in seinem flüssigen Zustand. Man darf aber nicht vergessen, dass ein beträchtlicher Teil der Verdunstung zugeführt wird. Die Evapotranspiration wird dabei durch ihre drei Hauptkomponenten Evaporation, Transpiration und Interzeption abgebildet und stellt sich als Wassertransfer zwischen Boden, Pflanze und Atmosphäre dar. In dem bereits erwähnten Forschungsprojekt wurde die Verdunstung für niederungstypische Grünlandstandorte auf der Basis gemessener klimatologischer, pedologischer, hydrologischer, vegetationsgeographischer und botanischer Parameter modelliert und validiert. Verwendet wurde dazu das Modellpaket MOBOWASI. Die Ergebnisse zeigten (vgl. Abb. 9), dass sowohl für alle typischen Grünlandstandorte der Niederung die Verdunstung eine bedeutende Komponente für den Wasserkreislauf ist und speziell die Transpiration maßgeblich zum Wassertransfer beiträgt. Betrachtet man exemplarisch die drei bereits verwendeten charakteristischen Niederungsstandorte AUE1, TR2 und P5 so bilden sich daneben weitere Gemeinsamkeiten ab. Die witterungsklimatisch, pedologisch und bewirtschaftungstechnisch bedingten Standorteigenschaften bewirken über die Biomasse das Transpirationsverhalten. So haben primär der Bewirtschaftungszyklus, die Feuchte- und Temperatureigenschaften vorherrschender Witterungsperioden sowie pedohydrologische Standorteigenschaften einen Einfluss auf die standorttypische Evapotranspiration.

Betrachtet man zunächst den *Standort AUE1*. Die dafür modellierten Verdunstungswerte bilden den standorttypischen phänologischen Zyklus ab. Die zweimalige Mahd prägt die Kurvenverläufe. Die saisonale Rhythmik wird sachlich richtig wie folgt abgebildet. 1995 werden in der Aue, nach Rückgang der hohen Grundwasserstände, hohe Biomassen produziert (1000g). Dazu gehören beträchtliche Wuchshöhen. Nach dem ersten Schnitt wachsen die Pflanzen noch einmal auf und decken dabei wieder die Fläche vollständig ab. Lediglich die Biomasseproduktion fällt deutlich geringer aus (250g). Erst nach der zweiten Mahd im September werden für alle drei Größen deutlich geringere Werte sichtbar, die dem Regenerieren vor der Winterruhe entsprechen. Im zweiten Jahr tritt kältebedingt im Frühling eine Wachstumsverzögerung auf und der zweite Aufwuchs verzögert sich, verglichen mit dem Vorjahr, durch die ungünstigeren Wärmeverhältnisse. Die Verdunstungsgänge sind folgendermaßen zu interpretieren. Nennenswerte Mengen sind ab März festzustellen. Dies trifft für beide Jahre zu. Auf den ersten Blick erscheinen die beiden Jahresgänge ähnlich, obwohl es hinsichtlich der witterungsklimatischen Bedingungen deutliche Unterschiede gibt. So fällt insbesondere die anhaltende Trockenphase im August 1995 nicht auf. Auch im zweiten Jahr spielt die Transpiration über den gesamten Sommer hinweg eine Rolle. Abzuleiten ist dies aus der Dominanz der Bewirtschaftung und dem größeren Einfluss des Grundwassers. Im Jahr 1995 steigen die Werte für die Evapotranspiration ab März kontinuierlich an. Den wesentlichen Teil stellt dabei die Bodenverdunstung. Der Transpirationsanteil wächst relativ langsam im Vergleich zum Trockenstandort TR2. Erst ab Ende April mit Rückgang des Grundwasserstandes wächst der Transpirationsanteil schneller und drängt mit Begrünung der Grasnarbe die Bodenverdunstung gegen Null. Von nun an bis zum Mahdtermin bestimmen ausschließlich Transpiration und Interzeption den Verdunstungswert, wobei die Interzeption nach Niederschlägen auftritt. Für die Verdunstung werden in der zweiten Junihälfte Spitzenwerte erreicht. Durch die Mahd wird diese Entwicklung abgebrochen. Danach baut sich die Evapotranspiration wieder auf. Zunächst mit hohen Evaporationsanteilen, später mit steigenden Transpirationsanteilen. Ab Anfang August bestimmt fast ausschließlich die Transpiration die Verdunstung. Die besseren Wasserspeichereigenschaften des Aulehms nivellieren Niederschlagsdefizite. Ein Rückgang deutet sich aber an. Neben der Trockenheit wirkt zunehmend auch der Temperaturrückgang. Die Interzeptionswerte steigen ab September bei Niederschlagsereignissen. Diese häufen sich vor dem zweiten Mahdtermin und verdrängen den Transpirationsanteil in dieser Zeit. Die zweite Mahd lässt die Werte nochmals fallen. Sie bleiben ab Oktober auf einem niedrigen Niveau. Das zweite Untersuchungsjahr hat grundsätzlich Ähnlichkeiten. Unterschiede werden für das Frühjahr modelliert, wo bis weit in den Mai hinein die Transpirationswerte gering bleiben. Ursache

dafür ist der lange kalte und trockene Winter und die Überflutung der Aue. Erst ab der letzten Maidekade steigen, bedingt durch das verstärkte Pflanzenwachstum aufgrund Wärme und Feuchtigkeit, die Transpirationswerte und werden zur bestimmenden Größe der Verdunstung. Die Mahd bewirkt einen Werterückgang. Die anhaltende Feuchtigkeit bei mäßiger Wärme in diesem Jahr bewirkt, dass Transpiration, Evaporation und Interzeption zunächst gemeinsam wirken. Ab Mitte August schließt sich der Zweitaufwuchs. Damit bestimmen Transpiration und Interzeption die Verdunstung. Der zweite Mahdtermin zeigt ähnliche Wirkung wie im Vorjahr.

Analoge Grundaussagen betreffen den *Standort TR2*. Entsprechend den Standorteigenschaften eines Trockenrasenstandortes ergeben sich jedoch deutliche Unterschiede. Sie betreffen die wesentlich geringeren absoluten Mengen, die weitaus deutlichere Abbildung der witterungsklimatischen Unterschiede der beiden Jahre 1995 und 1996 sowie die größere Bedeutung der Evaporation, bedingt durch niedrigere Bedeckungsgrade. Die beiden Jahresverläufe stellen sich wie folgt dar. Nennenswerte Evapotranspirationswerte werden erst in der zweiten Februarhälfte 1995 erreicht. Sie sind fast ausschließlich Evaporationswerte. Erst im März treten zögerlich, später progressiv Transpirationsanteile hinzu. Ende April, Anfang Mai schnellen diese Werte sprunghaft in die Höhe und verdrängen die Evaporationswerte zunehmend. Ab Mitte Mai bis zum Mahdtermin, das Gras wird am 15.06. gemäht, hat die Evaporation keine Bedeutung. Diese besitzen nun Niederschlagsereignisse, wie beispielsweise ab dem 15.05. oder 29.05.1995. Sie haben einen deutlichen Rückgang des Transpirationsanteils zur Folge. Interzeption dominiert in solchen Fällen die Verdunstung. Nach dem Mahdtermin geht die Transpirationsrate etwa um die Hälfte zurück. Der Anteil der Evaporation steigt abrupt. Insgesamt fallen die Verdunstungswerte wieder. Niederschläge werden nun vom Boden in größeren Mengen aufgenommen und direkt wieder verdunstet. Mit der einsetzenden Trockenphase im August fällt die Verdunstungsrate stark. Es wird nur noch über die Pflanzen verdunstet, die ihre eigene Feuchtigkeit bis zum Vertrocknen abgeben. Später, wenn die Niederschläge wieder einsetzen, erhöht sich die Verdunstungsrate. Der Transpirationsanteil bleibt aber niedrig. Deutliche Anteile werden durch die Evaporation und die Interzeption gebildet. Im zweiten Jahr werden durch den kalten und trockenen sowie langanhaltenden Winter zunächst allgemein niedrige Evapotranspirationswerte erreicht. Der Transpirationsanteil bleibt dabei gering. Erst mit Einsetzen der Niederschläge nach dem 20. April schnellen die Verdunstungswerte hoch, werden aber anfangs nur aus Evaporation gebildet. Erst später, ab etwa Mitte Mai, treten die Pflanzen verstärkt in den Zyklus ein und gewinnen Anteile. Niederschläge führen zu Interzeptionswerten, aber die Verdunstung direkt vom Boden wird erhalten. Die Transpiration ist für eine kurze Phase vom 01.-15.06.1996 sehr hoch. Dann folgt der Mahdtermin. Die Wirkungen sind zunächst die gleichen wie im Vorjahr. Eine niederschlagsarme Phase in der zweiten Junihälfte bewirkt nicht nur, dass die Verdunstungswerte niedrig bleiben. Sie hemmen den Wiederaufwuchs deutlich und beschränken die Pflanzenwirksamkeit nachhaltig für den Rest des Jahres. Somit gehen die höheren Niederschläge ab Juli und speziell im August mit hohem Anteil über die Evaporation in die Verdunstung ein.

Als abschließendes Beispiel soll der Niedermoor-*Standort P5* betrachtet werden. Neben den bereits erwähnten Gemeinsamkeiten besteht die Spezifik des Standortes in der eingeschränkten Bewirtschaftung. Es erfolgt nur einmal jährlich eine Bewirtschaftungsmaßnahme. Damit bestehen vom Frühsommer bis zum Herbst vergleichsweise stabile Bedingungen. Die Fläche ist langfristig vollständig vegetationsbedeckt. Die Wuchshöhe ist längere Zeit (zwischen Gräserblüte und Mahdtermin) gleich. Lediglich die Biomasseproduktion stagniert nach der Blüte und ist mit einsetzendem Absterben nach der Reife rückläufig. Dies trifft insbesondere für das Jahr 1995 zu, wo sich dies durch die Trockenperiode im August verstärkt. Nach dem Mahdtermin im Herbst steht die vegetative Entwicklung nahezu still. Im zweiten Untersuchungsjahr verzögert sich witterungsbedingt die Vegetationsentwicklung. Es werden sowohl bei der Wuchshöhe, dem Erreichen des vollständigen Bedeckungsgrades und bei der Biomasseproduktion infolgedessen schlechtere Werte erzielt. Außerdem ist durch die anhaltende Bodenfeuchtigkeit im Sommer der Rückgang der Biomasseproduktion moderater. Das Verdunstungsverhalten bildet den einfachen Bewirtschaftungszyklus ab. Hier wird im feuchten Naturschutzbereich nur einmal, Ende September, gemäht. Bis Anfang Mai steht das Wasser oberflächennah. In dieser Phase sind die Evaporationsanteile im Verdunstungswert ersichtlich. Mit Rückgang des Grundwasserspiegels setzt in der zweiten Aprilhälfte die Begrünung ein, was sich in einem Anstieg der Transpirationswerte niederschlägt. Von nun ab wird die Evapo

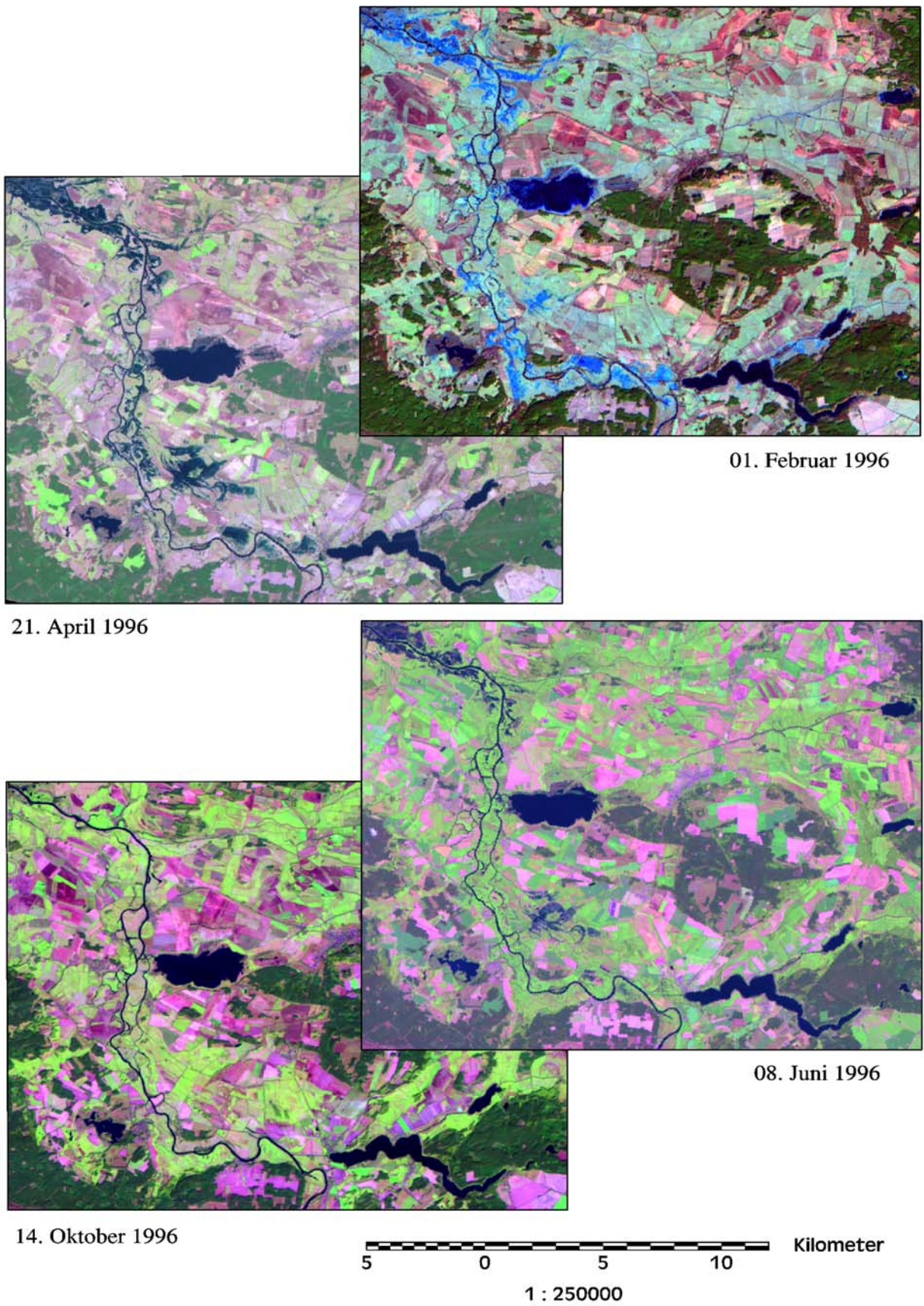


Abb. 8: Widerspiegelung der Überflutungsdynamik im Satellitenbild

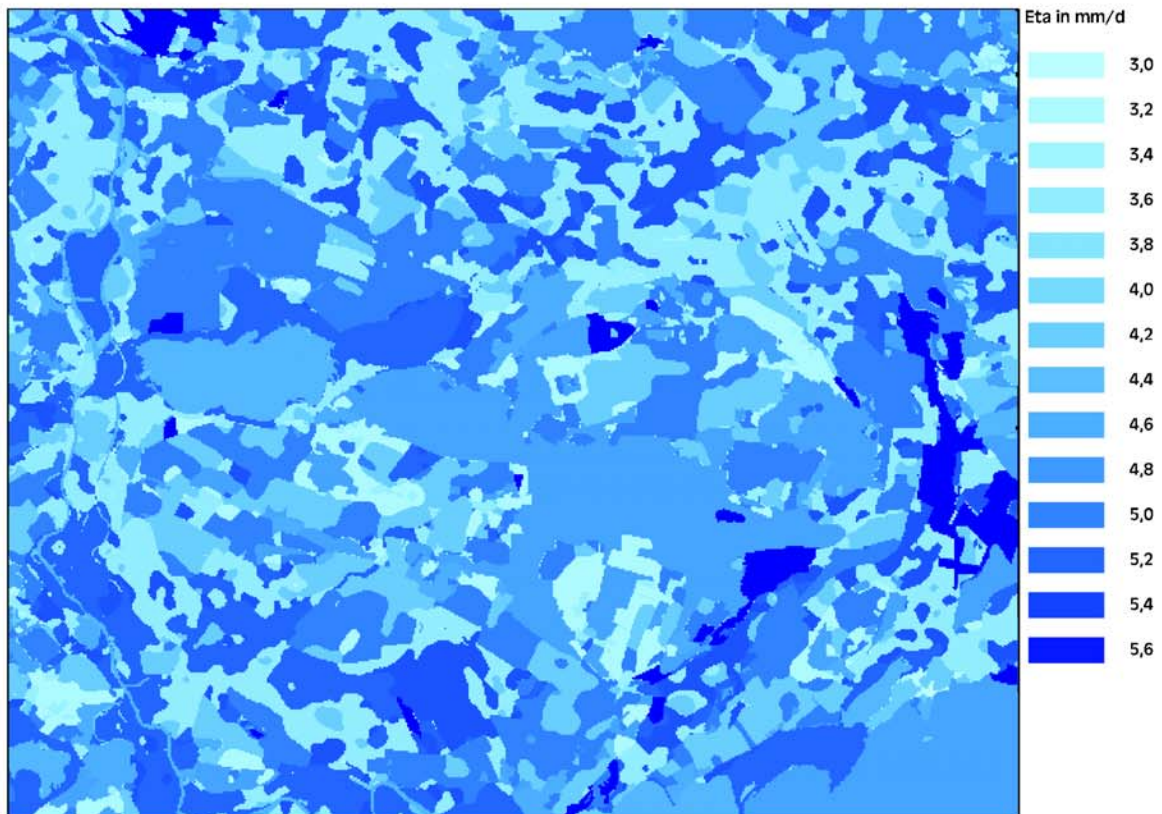


Abb. 10: Verteilung der Evapotranspiration in den Niederungsgebieten in Abhängigkeit von Naturraum und Nutzung

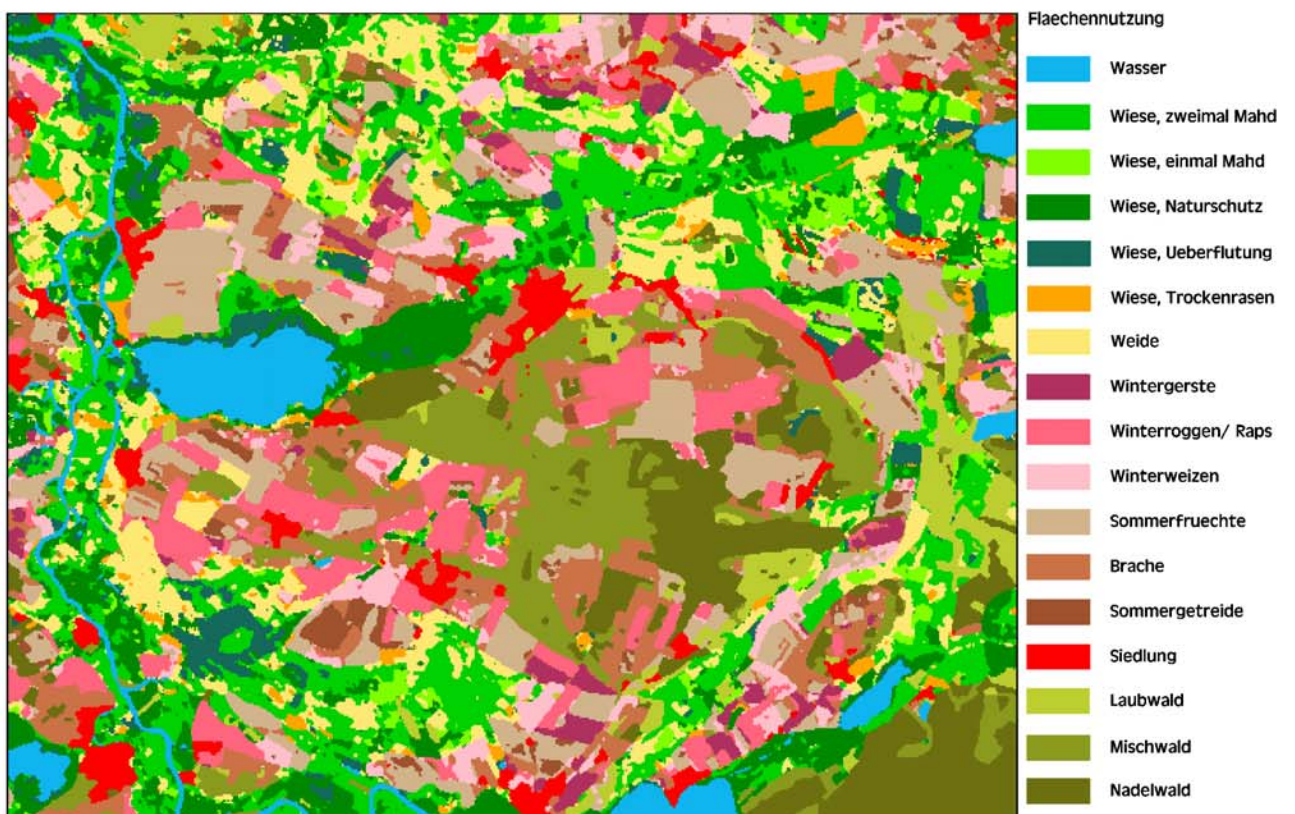


Abb. 11: Flächennutzung im Untersuchungsgebiet, abgeleitet aus Fernerkundungsdaten

transpiration durch die Transpiration und bei Niederschlag durch die Interzeption bestimmt. Auffällig ist, dass selbst die längere Trockenphase im August 1995 sich nicht in einem Rückgang der Werte bemerkbar macht. Hier wirkt der Grundwassereinfluss. Im September geht die Verdunstungsleistung spürbar zurück, obwohl Niederschläge im September reichlich fielen. Es wird das Absterben des Grasbestandes am Ende der Vegetationsperiode sichtbar, das bereits vor der Mahd einsetzt. Diese trägt am Ende des Septembers Pflegecharakter. Sie verdrängt die Transpiration und Interzeption und lässt kurzzeitig Evaporation zu. Sie verbessert aber auch das Austreiben und Wachsen der Wiesen im Folgejahr. Der kalte trockene Abschnitt zu Beginn des Jahres 1996 verzögert die Vegetationsentwicklung deutlich. Damit gehen bis Ende Mai im Vergleich zum Vorjahr höhere Evaporationsanteile in die Verdunstung ein. Ab Juni steigen die Transpirationsanteile. Sie werden wieder durch Niederschläge unterbrochen, die Interzeption bewirken. Insgesamt liegt das Wertenniveau unter dem des Vorjahres. Die kurzen Trockenphasen haben transpirationsbedingt höhere Verdunstungswerte als die in diesem Jahr sich häufenden feuchten Abschnitte des Sommers. Insgesamt sind sich beide Jahre mit Ausnahme des ersten Quartals ähnlich.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Bewirtschaftung in der Unteren Havelniederung einen wesentlichen Einfluss auf den Wassertransfer ausübt. Sie wirkt maßgeblich auf den Wasserkreislauf ein und beeinflusst ihn sowohl regional als auch global. Umso wichtiger ist es, die standortbezogenen Erkenntnisse auf die Fläche zu transformieren. Hierzu eignen sich Bewirtschaftungsparameter, da sie einerseits einen zwingenden Bezug zum Wassertransfer besitzen und andererseits gut aus multitemporalen Fernerkundungsdaten abgeleitet werden können (vgl. Abb. 10).

Zusammenfassung

Man konnte bisher feststellen, dass die hydrologischen Verhältnisse die zentrale Einflussgröße innerhalb des komplexen Wirkungsgefüges Niederung sind. Wenngleich wir von Beginn an die Kultivierung der Unteren Havelniederung durch den Menschen postuliert und den Menschen in zentrale Verantwortung für die aktuellen hydrologischen Verhältnisse gestellt haben, bleibt er Bestandteil des komplexen Gefüges. Gefüge bedeutet aber auch „sich fügen“ bzw. „sich einfügen“. Als Abbild dessen kann die Nutzung gesehen werden, die sich durch die aktuelle Flächennutzung widerspiegelt. Auch hier soll ein Überblick für einen repräsentativen Gebietsausschnitt aus der Unteren Havelniederung durch eine multitemporale Analyse von Satellitenbildern Anhaltspunkt für eine abschließende Bewertung sein (vgl. Abb. 11).

Das Gebiet der Unteren Havel ist verhältnismäßig dünn besiedelt. Dies ist ein Anzeichen für eher schwierige Nutzungsbedingungen. Die Nutzung ist durch die Landwirtschaft geprägt. Dies betrifft insbesondere die Niederung. Sind auf den Ländchen forstwirtschaftliche Nutzungen noch häufig, wurden die niederungstypischen Wälder auf kleine Restareale zurückgedrängt. Die landwirtschaftliche Nutzung gliedert sich in Feld- und Grünlandwirtschaft. Besonders in der Niederung sind Sommerkulturen und Futterpflanzen häufig. Das ist ein Hinweis darauf, dass insbesondere die Wintermonate für den Ackerbau auf einigen Flächen gewisse Risiken für eine uneingeschränkte Bewirtschaftung besitzen. Diese werden maßgeblich mit durch die hydrologischen Verhältnisse bedingt. Die Grünlandwirtschaft besitzt hohe Flächenanteile. Die jährlichen Bewirtschaftungszyklen sind sehr verschieden und bilden ein breites Spektrum innerhalb der Grenzen von naturräumlichen Möglichkeiten und anthropogenen Regularien. Beide sind hydrologisch bedingt und widerspiegeln die gegenwärtige Dynamik, die sich primär aus der Balance zwischen den Funktionen Landwirtschaft und Naturschutz ergibt. So unterscheiden sich die Grünlandnutzungen nach Mahd und Weide, nach Anzahl und Termin der Mahd und nach standorttypischen Phänologien. Letztlich sichtbar werden aber auch die Überflutungsgebiete. Sie treten den mehr oder minder häufigen, regelmäßigen und heftig auftretenden natürlichen Hochwassern und den Stauregulierungen entsprechend auf und beeinflussen die Bewirtschaftungsdynamik in der Niederung. Alles in allem ergibt sich also ein deutlich vom Wasser geprägtes gegenwärtiges Nutzungsbild. Es gibt Bestrebungen, dieses Nutzungsbild zu verändern. Die Motive sind verschieden, manchmal konträr. Richtige Entscheidungen setzen umfangreiche Kenntnisse über das Funktionieren der Landschaft voraus. Hier sollte gezeigt werden, dass das spezifische hydrologische Regime der Region eine zentrale und regulierende Position einnimmt. Abschließend bleibt zu wünschen, dass Werte wie Ausgewogenheit, Nachhaltigkeit oder Einmaligkeit

in das Leitbild für die Entwicklung des Gebietes an der Unteren Havelniederung einfließen und so bei vielen Menschen Akzeptanz in Form von Wohlgefühl erzeugt wird.

Behutsamkeit und Weitsicht müssen zu einer integrierten Wassernutzung in der Kulturlandschaft „Untere Havelniederung“ führen. Als ein bereits gelungenes Beispiel kann die im Rahmen eines EXPO-Projektes realisierte Renaturierung des Mühlgrabens im Gestütswald bei Neustadt/Dosse gesehen werden. Es ist ein Beitrag zur Schaffung einer größeren Naturnähe von Fließgewässerstrukturen und damit sowohl zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes als auch zur Sicherung des Biotopverbundes in der Unteren Havelniederung. Für den Landschaftswasserhaushalt bedeutet dies, dass das Retentionsvermögen der Böden besser ausgeschöpft und sogar verstärkt wird. Außerdem stellt sich schrittweise die typische Flora und Fauna im Bereich des Mühlgrabens wieder ein. Der Naturraum wird wieder mehr zur regulierenden Landschaftskomponente im hydrologischen System. Ein richtiger Weg mit Beispielseffekt für den behutsamen Umgang mit dem „Schutzgut Wasser“.

Literaturverzeichnis

- Althaber, S. u. R. Harnisch: Erfassung des Eintrags von Nitrat und Phosphat im ländlichen Raum am Beispiel des Unterlaufs der Dosse, unveröffentlichter Manuskript, Potsdam 2001.
- Burkart, M.: Die Grünlandvegetation der unteren Havelaue in synökologischer und syntaxonomischer Sicht, Archiv naturwissenschaftlicher Dissertationen, Bd.7, Wiehl 1998.
- Feldmann, A.: Standortkundliche Untersuchungen in gepoldertem Auengrünland der Großen Grabenniederung (Untere Havel) als Vorbereitung für ein Renaturierungskonzept, Diplomarbeit, Potsdam 2000.
- Frick, A. u.a.: Projektarbeit „Alte Dosse“, unveröffentlichtes Manuskript, Potsdam 1997.
- Haase, P.: Die Entwicklung der Landnutzung an der Unteren Havel, Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg, Heft 4, 1995, S. 4-11.
- Kaden, K., Itzerott, S., Zebisch, M. u. U. Fritsch: Räumliche Unterschiede im Wassertransfer (Boden – Pflanze – Atmosphäre) in Niederungen des mitteleuropäischen Binnentiefenlandes, Potsdamer Geographische Forschungen, Bd. 18, Potsdam 1999.
- Kalweit, H.: Schöpfung aus Wald und Wasser – Geschichte der Wasserwirtschaft in Brandenburg und Berlin, Stuttgart 1998.
- Knösche, R., Mühle, R.-U.: Geschichte der Havel-Flußlandschaft. Die Regulierung des Flußlaufes und deren Wirkung auf die Ökosysteme. Symp. Grüne Liga und Heinrich-Böll-Stiftung, Informationsreihe Grüne Liga, Berlin 1998, S. 15-23.
- Knothe, D.: Untere Havelniederung, Studie des Fördervereins „Untere Havelniederung“ Bd. 1-6, Brandenburg 1993.
- Landesumweltamt Brandenburg: Studien und Tagungsberichte des Landesumweltamtes Brandenburg: Die Havel, Bd. 8, Potsdam 1995.
- NATURSCHUTZ im Land Sachsen Anhalt: Untere Havelniederung in Sachsen Anhalt, 32.Jg., Sonderheft, Halle 1995.
- Neubert, G.: Agrarstrukturelle Vorplanung „Wasserregulierung im Amt Rhinow“, Paulinenaue 1997.
- Petrick, G.: Zur Fischfauna des Gülper Sees und der Unteren Havelniederung, Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg, Heft 4, 1995, S. 31-34.
- Wasser- und Schifffahrtsamt Brandenburg: Staubeiratssitzung 1997, Brandenburg 1997.

Anschriften der Verfasser:

Dr. Sibylle Itzerott
GeoForschungsZentrum Potsdam
Sektion 1.4, Fernerkundung
Telegraphenberg A 17
14473 Potsdam

HD Dr. habil. Klaus Kaden
Universität Potsdam
Institut für Geoökologie
PF 60 15 53
14415 Potsdam