

Struktur-Prozess-Beziehungen in Wäldern – von der Messung über die Typisierung und Modellierung zur Prognose

S. Anders

**Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft
Institut für Forstökologie und Walderfassung Eberswalde**

**“Die Wissenschaft von den Lebensbedingungen
und den Lebensvorgängen im Walde ist dabei,
uns mit Detailerkennntnissen zu überschütten.
Es ist daher an der Zeit, von der Analyse
wieder zur Synthese zu kommen.
Es muß versucht werden, den Wald mit seinem
Wachstum und seiner Umwelt trotz seiner Vielfalt
wieder als ein Ganzes zu begreifen.”**

MITSCHERLICH, 1975

Definition von Wald- und Forstökosystemtypen

Wald- und Forstökosystemtypen kennzeichnen ökologische Elementareinheiten des Waldes, die über Wirkungszusammenhänge von biotischen und abiotischen Faktoren in Raum und Zeit durch ökologisch bzw. ökologisch-ökonomisch determinierte "Fahrinnen" geführt werden (HOFMANN, 1997). Bei einer im Rahmen der Waldformation einmaligen Merkmalskonfiguration sind sie (über Schlüsselfaktoren quantifizierbar) in sich weitgehend homogen.

- in wesentlichen strukturellen Merkmalen, wie
 - Zusammensetzung und Mengenanteil der Baumarten
 - Schichtung, Schichtenaufbau
 - Folge und Zeitdauer der internen Stadien
 - Arten- bzw. Artengruppenzusammensetzung der Bodenvegetation und deren Mengenerfaltung
 - durchschnittliche Anzahl der am jeweiligen Stadium beteiligten Pflanzenarten
- in Qualität und Quantität wuchsbestimmender ökologischer Faktoren, wie
 - Bodennährkraft
 - Luft- und Bodenfeuchte
 - Strahlungsgewinn und Wärme
- in wesentlichen Prozessabläufen, wie
 - geochemische Stoffflüsse (C, N, H₂O u.a.)
 - Nettoprimärproduktion
 - inter- und intraspezifische Konkurrenz
 - Regeneration

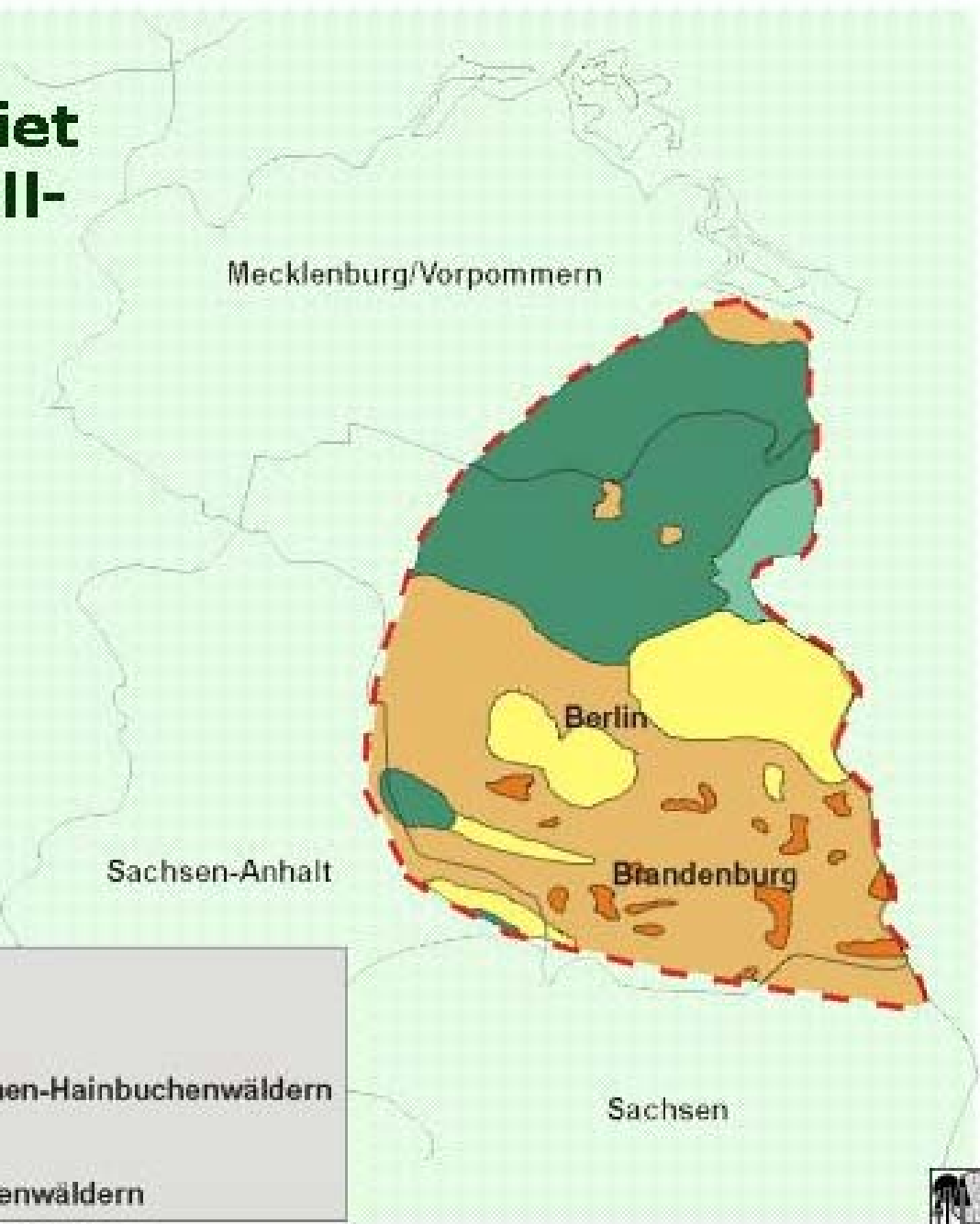
und grenzen sich von anderen Wald- bzw. Forstökosystemen durch qualitative und quantitative Unterschiede im Zustand und in der Ausprägung dieser Merkmale ab. Forstpraktisch sind Wald- und Forstökosystemtypen flächenkonkrete Informationsträger zu ökologischen, biologischen, ökonomischen sowie sozialen Leistungen und Funktionen des Waldes.

Die drei Säulen des Ökosystemtypen-Konzepts

1. **Vorhandensein gesetzmäßiger, wechselseitiger Beziehungen zwischen den Strukturen der Wälder und den in ihnen ablaufenden Prozessen;**
2. **Eingrenzung der Mannigfaltigkeit der Wälder durch deren Zusammenfassung zu Ökosystemtypen.**
3. **Nutzung der auf Ökosystemtypenbasis quantifizierten Struktur-Prozessbeziehungen für umfassende (Inventur-) Aussagen zur flächenbezogenen Kennzeichnung von Waldzuständen und Ableitung gegenwärtiger und künftiger Potentiale und Leistungen.**

Untersuchungsgebiet mit in den potentiell- natürlichen Waldvegetation

(unter Ausschluss der
azonalen Vegetation der
Auen und Niederungen)



- - - Untersuchungsgebietsgrenze
- Buchenwälder
- Buchenwälder im Übergang zu Eichen-Hainbuchenwäldern
- Eichen-Hainbuchenwälder
- Eichenwälder
- Kiefernwälder im Komplex mit Eichenwäldern

Übersicht zur Verknüpfung von Prozeß- und Strukturfor-schung als Vor-aussetzung für die flächenhafte Umsetzung der Ergebnisse des BMBF-Ver-bundprojektes „Waldökosys-temforschung Eberswalde“

Geochemische und biologische Prozeßforschung



	Intensitätsstufe (Level)				
	1	2	3	4	5
Witterung					
Klimastation in Freiland und Bestand					
Wasserhaushalt					
Großlysimeter ¹⁾					
Kleinlysimeter ²⁾					
Tensiometer / Feuchtesonden					
Niederschlagsammler					
Stammabfluß ³⁾					
Stoffhaushalt					
Sickerwasseranalysen (5m) ¹⁾					
Saugkerzen (bis 2m)					
Depositionsmessungen					
Phytomasseanalysen (oberird.)					
Bodenprofilanalysen					
Oberboden- und Humusanalysen					
Nettoprimärproduktion und Wachstum					
Zuwachsfleinmessungen					
Jahringchronologien					
Stammanalysen					
Physiologie und Rhizosphäre					
Trockenstreßtoleranz ⁴⁾					
Wurzelbiologie ¹⁾					
Emission von Spurengasen ²⁾					
	3	13	28	74	>600
	Anzahl der Flächen				

Biostrukturelle Forschung

Verbundprojekt „Waldökosystemforschung Eberswalde“

Einfluß von Niederschlagsarmut und erhöhtem Stickstoffeintrag auf Kiefern-Eichen- und Buchen- Wald- und Forstökosysteme des nordostdeutschen Tieflandes und Ableitung von Handlungsempfehlungen zur langfristigen Sicherung der Waldstabilität“

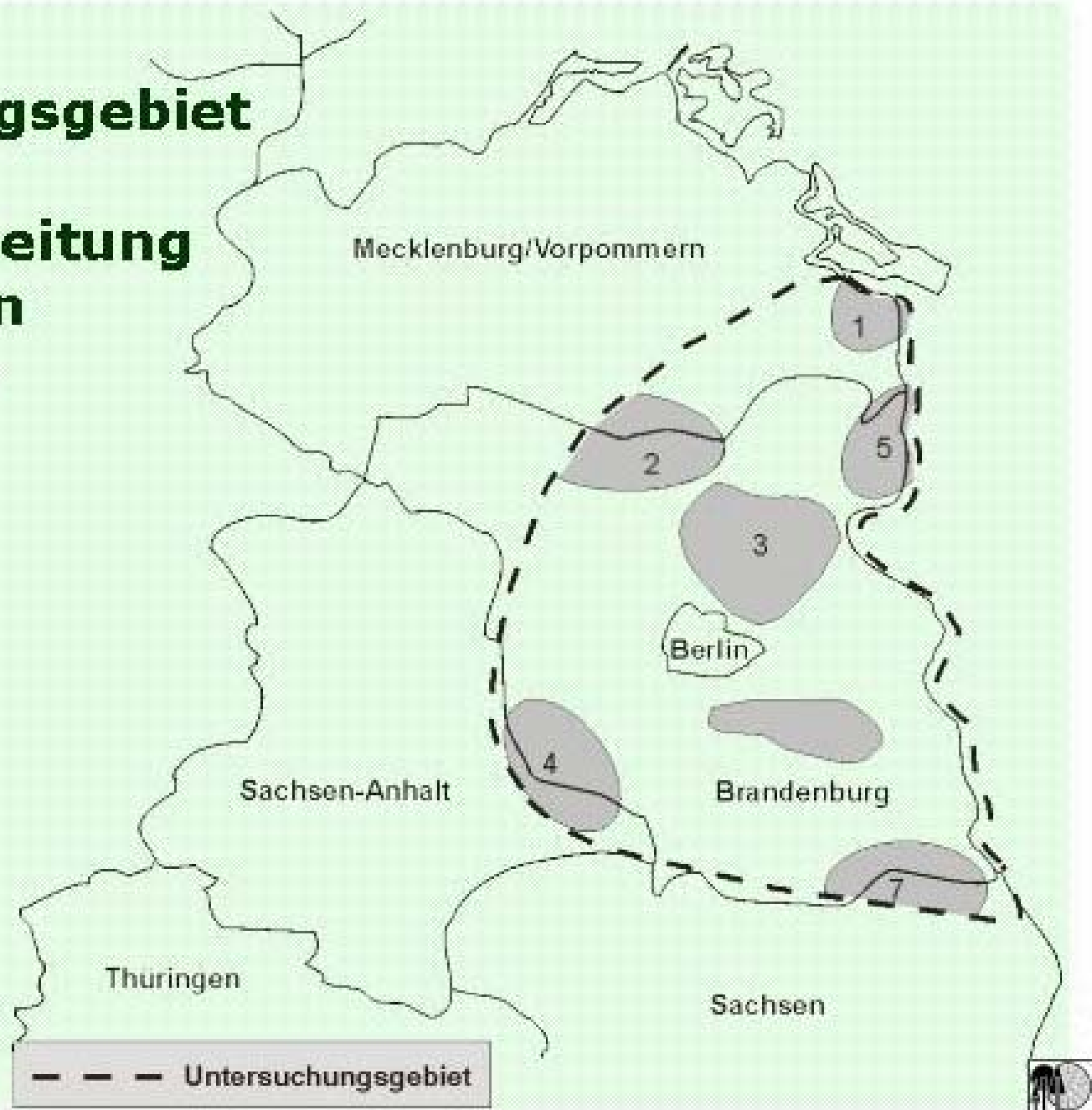
Anmerkung:
Zahlenangaben stehen für die Gesamtzahl der Flächen, deren Untersuchungsprogramm mindestens der jeweiligen Intensitätsstufe entspricht:

- Stufe 1: 3 = 3 Flächen
- Stufe 2: 3 + 10 = 13 Flächen
- Stufe 3: 3 + 10 + 15 = 28 Flächen
- Stufe 4: 3 + 10 + 15 + 46 = 74 Flächen

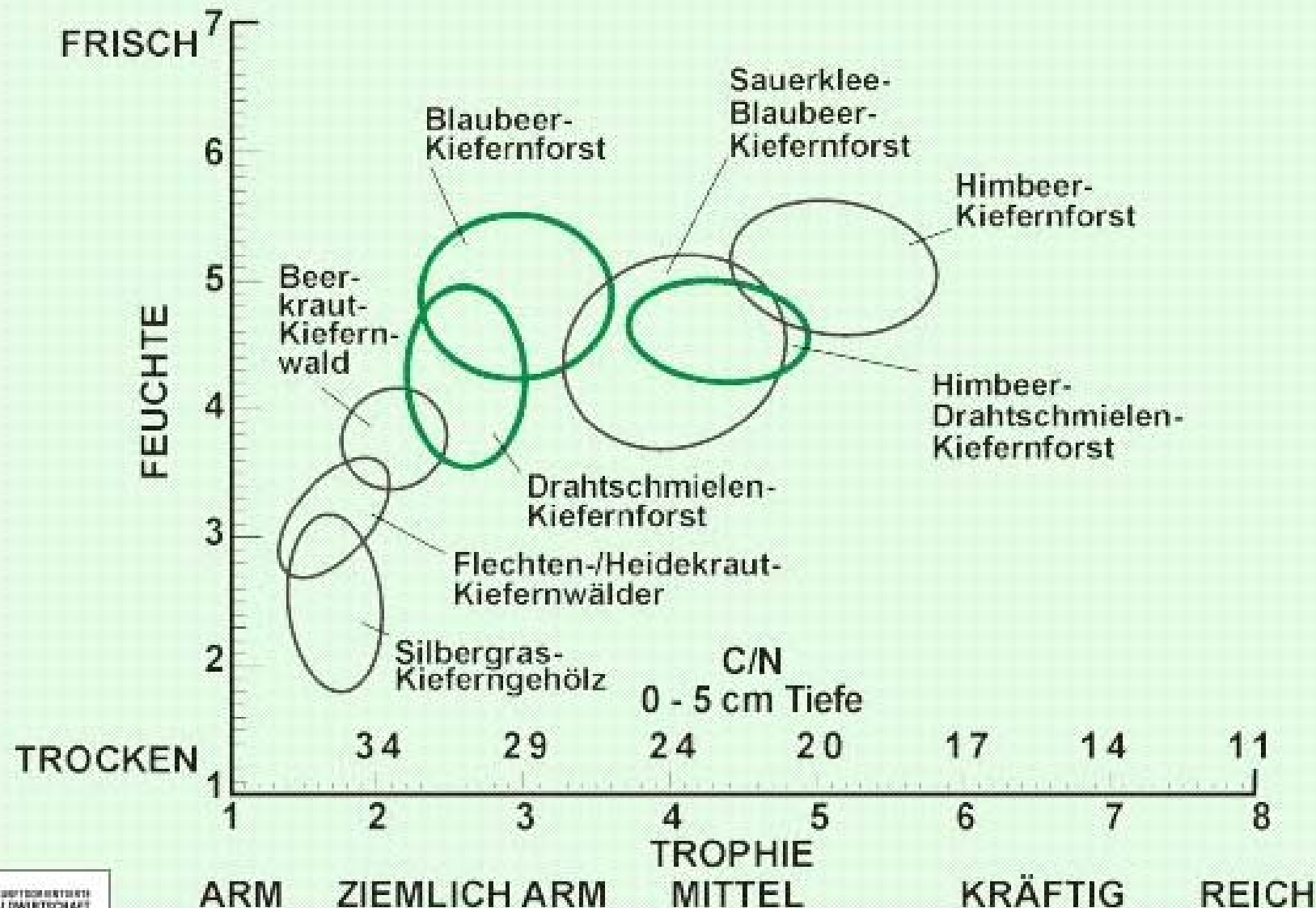
Intensitätsstufe (Level)
1: Lysimeterflächen
2-5: ungestörte Waldstandorte

¹⁾ Kiefer und Buche
²⁾ Kiefer
³⁾ Buche

Untersuchungsgebiet mit in die Projektbearbeitung einbezogenen Waldgebiete



Ökogramm wichtiger Kiefernforst- und Kiefernwaldtypen des ostdeutschen Tieflandes



Ökosystemmodell: Drahtschmielen-Kiefernforst -Teil I

Schlüsselparameter

Intervall und Mittelwert / Medianwert

Charakteristische Kombination soziologisch-ökologischer Artengruppen (Deckungswerte)

B Pinus sylvestris 54 - 68 - 82

6.9 Vaccinium myrtillus-Gruppe (%) 0 - 1/0,2 - 1

6.10 Deschampsia flexuosa-Gruppe (%) 10 - 40 - 70

M 6.3 Dicranum scoparium-Gruppe (%) 0 - 10/5 - 10

M 6.4 Pleurozium-Gruppe (%) 10 - 30 - 60

Pflanzenartenzahl (bezogen auf Minimalareal HG₁₀₀²)

10 - 17 - 24

Höhe Grundflächenmittelbaum Kiefer im Alter 100 (HG₁₀₀ in m)

17,7 - 21,3 - 24,9

Nährelementgehalte letztjähriger Kiefernadeln

N (%) 1,30 - 1,37 - 1,44

K (%) 0,49 - 0,52 - 0,55

Mg (%) 0,091 - 0,119 - 0,147

Ca (%) 0,277 - 0,323 - 0,369

Ökosystemmodell: Drahtschmielen-Kiefernforst -Teil II

Schlüsselparameter

Intervall und Mittelwert / Medianwert

Ökologische Kennwerte des Oberbodenzustands (Humusaufgabe u. Bodenblock 0 - 20 cm Tiefe)

pH-Wert (KCL) 3,8 - 4,2

C / N (o.D.) 21,0 - 24,7 - 28,4

C – Gehalt (t ha⁻¹) 14 - 22 - 30

**Mittlere NO – Emissionsrate bei mäßigen bis
mittleren / hohen N-Einträgen ($\mu\text{g NO-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$)** 0,4 / 9,8

**Mittlere N₂O – Emissionsrate bei mäßigen bis
mittleren / hohen N-Einträgen ($\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$)** 11,4 / 15,4

Ökosystemmodell: Drahtschmielen-Kiefernforst -Teil III

Schlüsselparameter

Intervall und Mittelwert / Medianwert

Ökologische Kennwerte des Bodenzustands (Humusauflage u. Bodenblock 0 - 80 cm Tiefe)

pH-Wert (KCL)	3,9	-	4,4
C / N (o.D.)	12,9	-	<u>16,2</u> - 19,5
Totale Sorptionskapazität nach MEHLICH, T-Wert (10^6 val ha^{-1})	0,44	-	<u>0,56</u> - 0,68
Basensättigungsverhältnis, V-Wert (%)	11,5	-	<u>21,7</u> - 31,9
C – Gehalt (t ha^{-1})	46	-	<u>64</u> - 82
N – Gehalt (t ha^{-1})	3,2	-	<u>4,0</u> - 4,8
K – Gehalt (t ha^{-1})	64	-	<u>83</u> - 102
Mg – Gehalt (t ha^{-1})	3,9	-	<u>6,2</u> - 8,5
Ca – Gehalt (t ha^{-1})	8,2	-	<u>13,8</u> - 19,4

Ökosystemmodell: Drahtschmielen-Kiefernforst -Teil IV

Schlüsselparameter

Intervall und Mittelwert / Medianwert

Potential der durchschnittlichen Nettoprimärproduktion an oberirdischer Trockensubstanz (Kiefern-Baumholz-Stadium)

Maximale oberirdische DNP (t TS ha ⁻¹ a ⁻¹)	5,1	-	<u>6,2</u>	-	7,3
- davon Kiefern-Baumholz (t TS ha ⁻¹ a ⁻¹)	3,4	-	<u>4,1</u>	-	4,8
- davon Kiefern-Nadelmasse (t TS ha ⁻¹ a ⁻¹)	1,5	-	<u>1,9</u>	-	2,3
- davon Bodenvegetation (t TS ha ⁻¹ a ⁻¹)	0,2	-	<u>0,2</u>	-	0,2

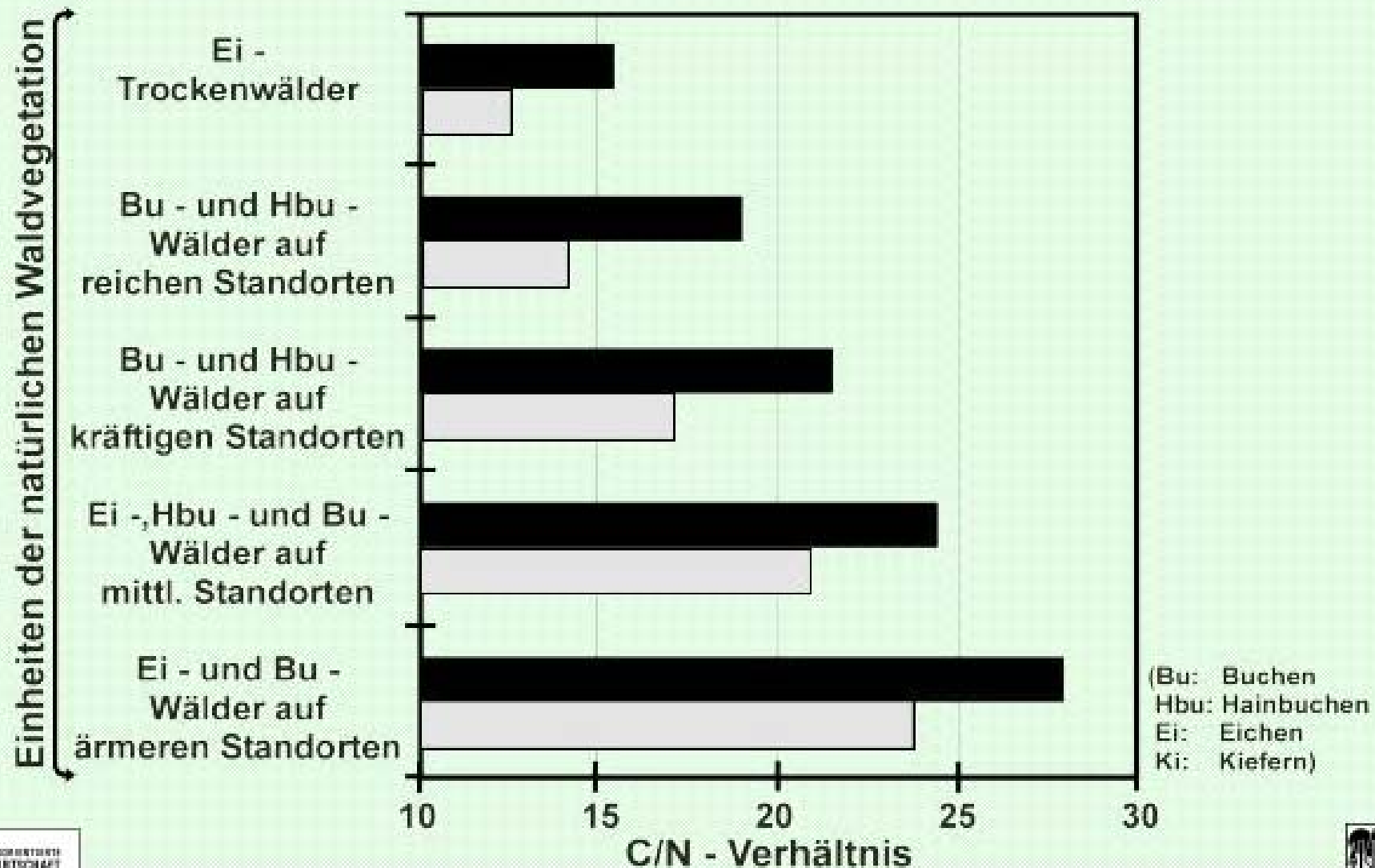
Verdunstungspotential (Kiefern-Baumholz-Stadium)

Gesamtverdunstung (mm a ⁻¹)	469	-	<u>513</u>	-	557
- davon Kronendach-Interzeption (mm a ⁻¹)	182	-	<u>203</u>	-	224
- davon Transpiration des Kiefernbestandes (mm a ⁻¹)	132	-	<u>142</u>	-	153
- davon Evapotranspiration am Waldboden (mm a ⁻¹)	155	-	<u>168</u>	-	180

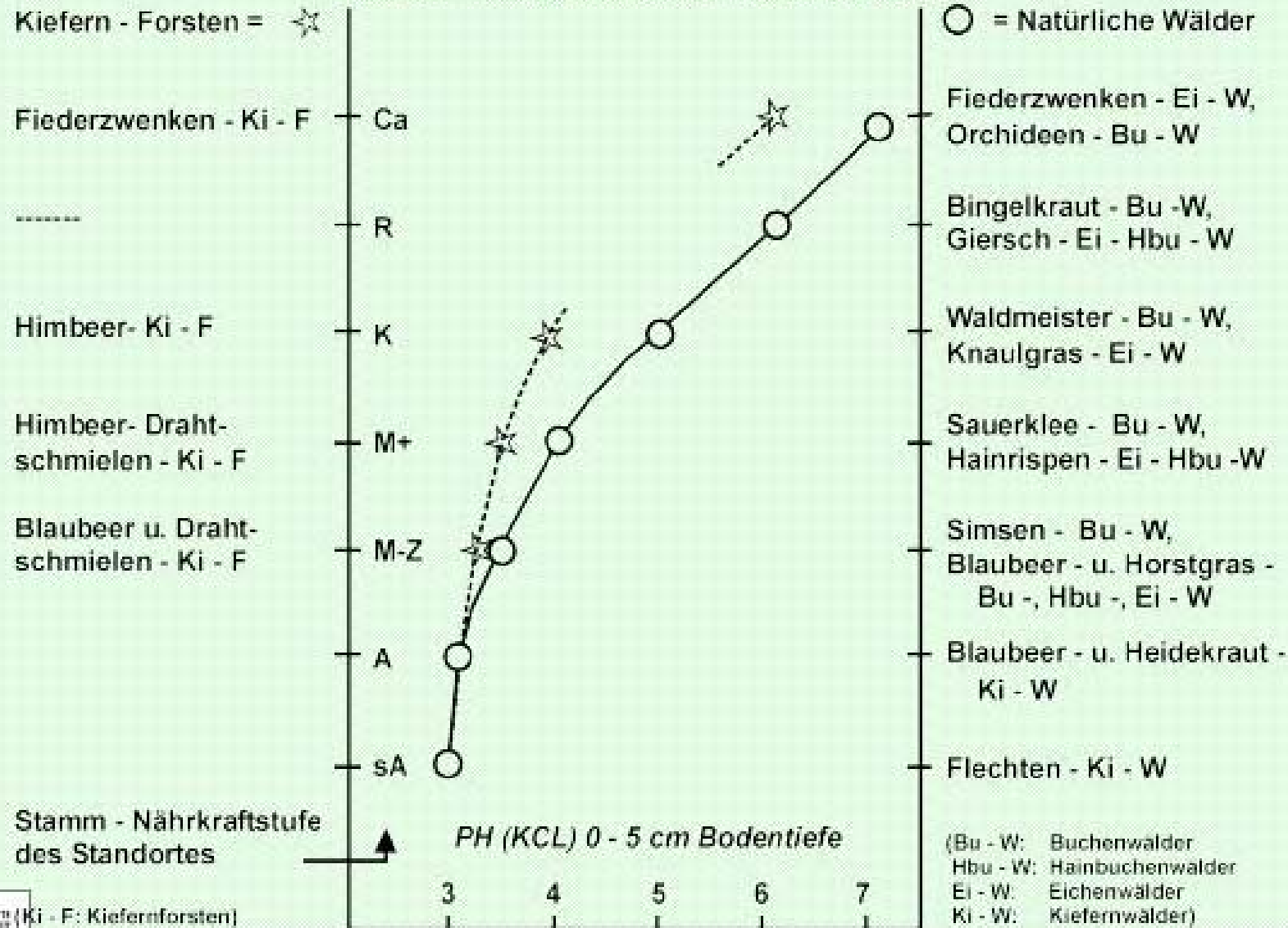
Wald- und Forstökosystemtypen im Nordostdeutschen Tiefland

	Naturnahe Waldökosystemtypen			Forstökosystemtypen (Nadelbaum-Ersatzgesellschaften)						Gesamt		
	Anzahl (St)	Fläche (ha)	Anteil an der Waldfläche (%)	der Kiefer			der Fichte			Anzahl (St)	Fläche (ha)	Anteil an der Waldfläche (%)
Ausstattung insgesamt	18	156718	9,3	8	1484875	88,5	7	36147	2,2	33	1677740	100,0
untersucht, parametrisiert, flächendeck. für Kalkulationen verfügbar	3	53074	3,2	4	1169828	69,7	-	-	-	7	1222902	72,9

Veränderung der C/N-Verhältnisse im Oberboden (0 bis 5cm Tiefe) natürlicher Wälder durch Kiefernanzbau



Veränderung der Azidität im Oberboden durch Kiefernreinanbau auf natürlichen Laubwaldstandorten

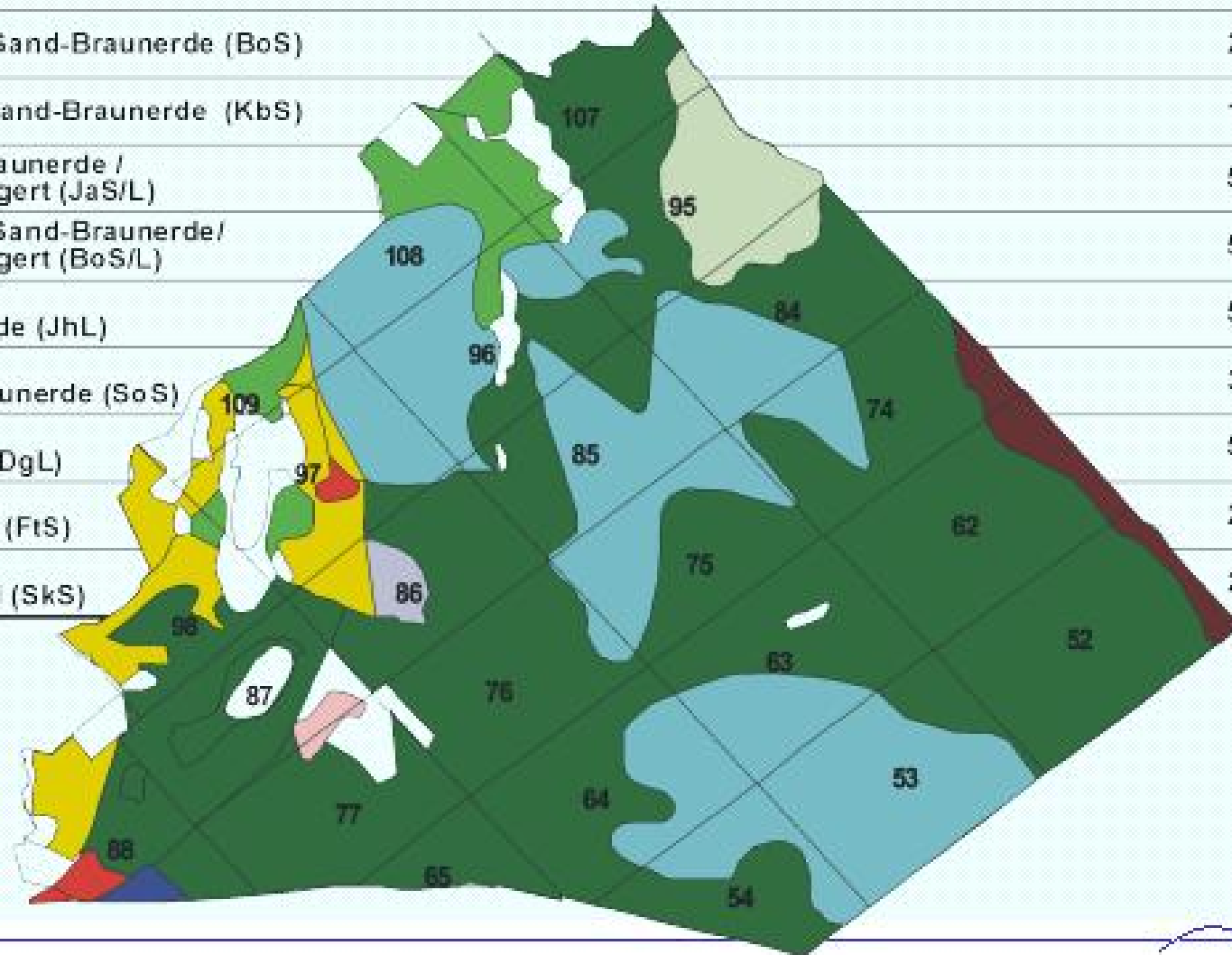


**Kalkulation der Wirkungen des
Waldumbaus auf die Tiefensickerung
als entscheidendem Kennwert zur
Beeinflussung des
Landschaftswasserhaushaltes
am Beispiel des Forstreviers Kahlenberg**

Lokalbodenformen und deren Feldkapazität im Revier Kahlenberg

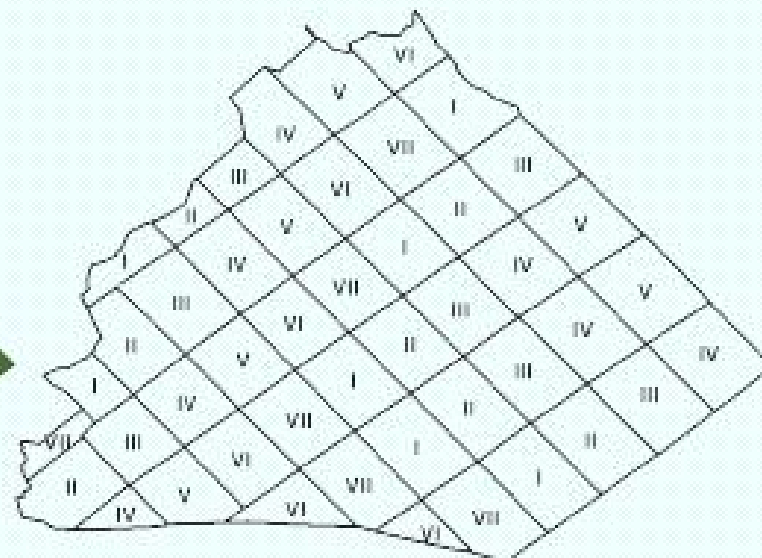
Lokalbodenform	Feldkapazität [mm] bis 2 m Tiefe
Jabeler Sand-Braunerde (JaS)	234
Bodenseichner Sand-Braunerde (BoS)	234
Kahlenberger Grand-Braunerde (KbS)	189
Jabeler Sand-Braunerde / Tieflehm unterlagert (JaS/L)	514
Bodenseichner Sand-Braunerde/ Tieflehm unterlagert (BoS/L)	514
Johannisberger Tieflehm-Fahlerde (JhL)	517
Sonnenburger Bändersand-Braunerde (SoS)	336
Darguner Lehm-Fahlerde (DgL)	585
Finowtaler Sand-Braunerde (FtS)	227
Schönebecker Sandrost-Podsol (SkS)	225

Keine Angaben



Vegetationsszenarien im Revier Kahlenberg








Potentiell-natürliche
Buchenwälder



Kiefernforsten
(Ersatzgesellschaften)



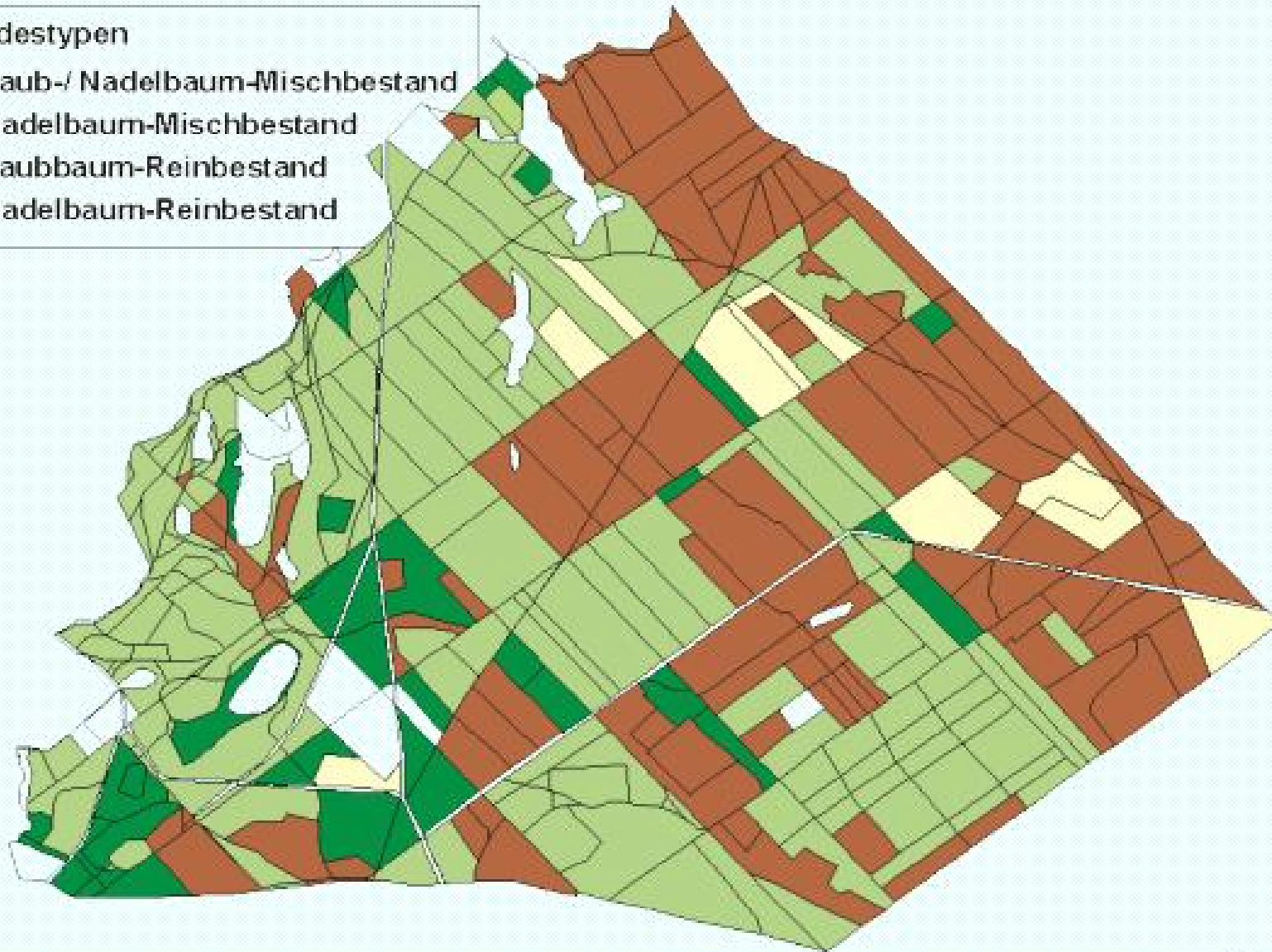
Verteilung der simulierten Altersklassen
(Normalwald)

-  Himbeer-Drahtschmielen-Kiefernforst
-  Himbeer-Kiefernforst
-  Drahtschmielen-Kiefernforst
-  Schattenblumen-Buchenwald
-  Flattergras-Buchenwald
-  Perlgras-Buchenwald
-  Keine Angaben

Aktuelle Bestandestypen im Revier Kahlenberg

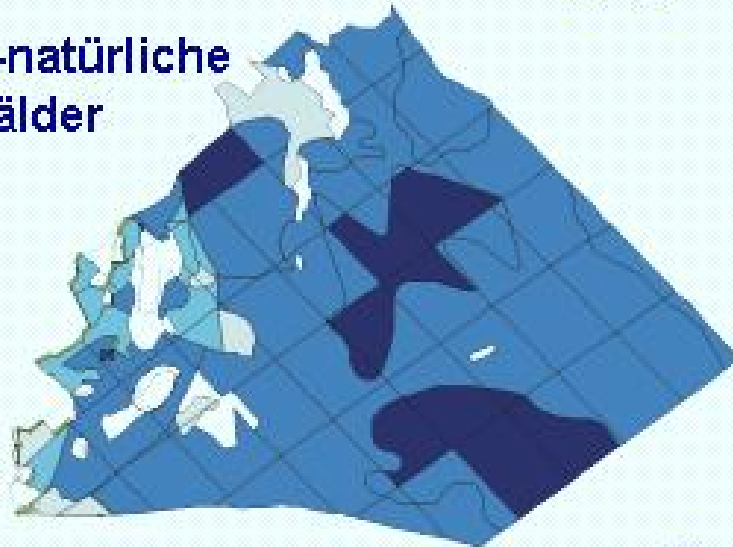
Bestandestypen

- Laub-/ Nadelbaum-Mischbestand
- Nadelbaum-Mischbestand
- Laubbaum-Reinbestand
- Nadelbaum-Reinbestand



Modellierung der jährlichen Tiefensickerung [mm] im Revier Kahlenberg (Jahresniederschlag 620 mm)

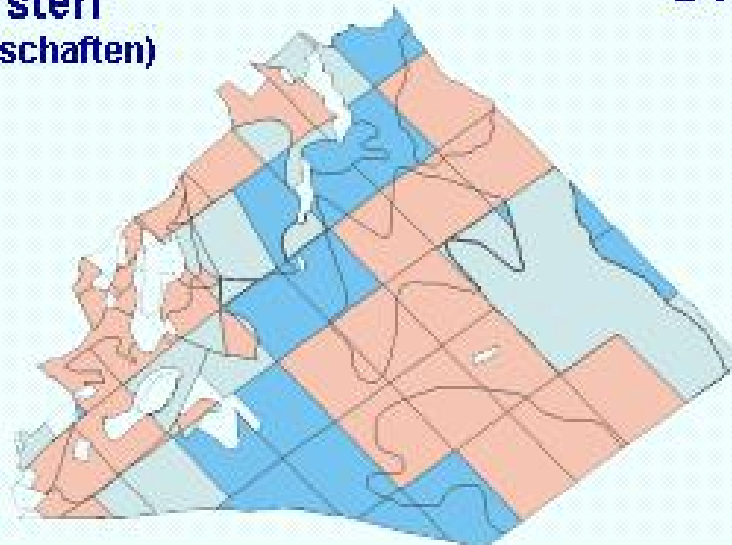
Potentiell-natürliche
Buchenwälder




Derzeitige Bestandestypenverteilung



Kiefernforsten
(Ersatzgesellschaften)



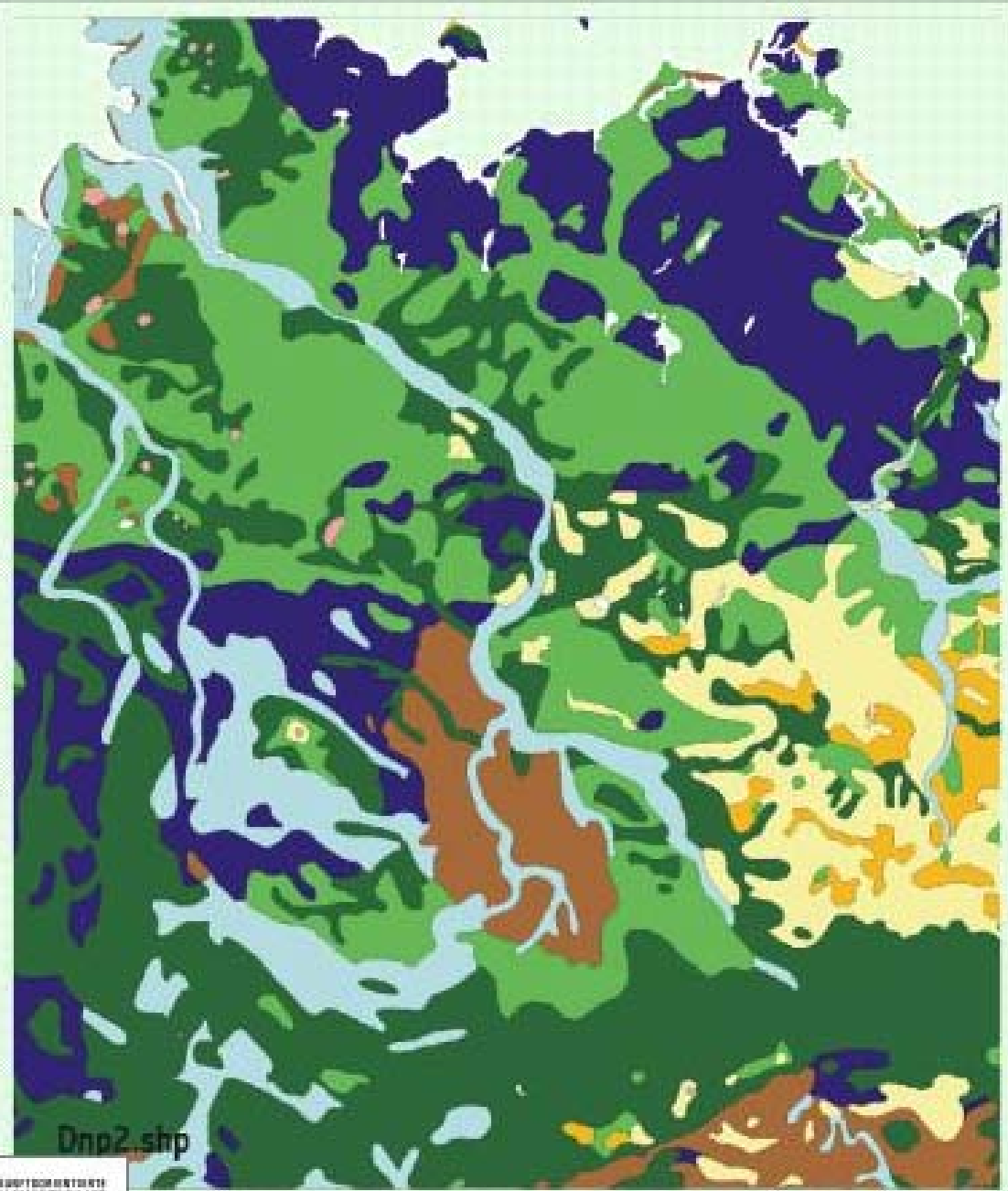
Sickerung [mm]

	0 - 40
	41 - 80
	81 - 120
	121 - 160
	161 - 180
	Keine Angaben

Kalkulation der Tiefsickerung für Vegetationsszenarien des Revieres Kahlenberg

(642 ha; 620 mm Jahresniederschlag)

Szenarium	Sickerung		
	m ³ /a	mm/a	% vom Freilandniederschlag
Buchenwälder	898.752	140	23
Kiefernforsten	298.762	47	7
Derzeitige Bestandestypenverteilung:			
Reinbestände: 47%	494.883	77	12
Mischbestände: 53%			



Potentiell-natürliche durchschnittliche oberirdische Nettoprimärproduktion

Dargestellt auf der Grundlage eines Ausschnittes des Blattes Mitteleuropa der Karte der natürlichen Vegetation Europas.

Tonnen Trockensubstanz pro Hektar und Jahr

	3,6 - 4,4
	4,5 - 5,4
	5,5 - 6,4
	6,5 - 7,4
	7,5 - 8,4
	8,5 - 9,4
	9,5 - 10,4
	10,5 - 11,4

100 km

Dnp2.shp

Natürliches Potenzial der Speicherung von organischen Kohlenstoff

Dargestellt auf der Grundlage eines Ausschnittes des Blattes Mitteleuropa der Karte der natürlichen Vegetation Europas.

Tonnen C pro Hektar



100 km



Auf der Grundlage des Konzepts der Wald- und Forstökosystemtypen wurden nachstehende Potentiale quantifiziert:

- für Mitteleuropa: pot.-nat. oberird. NPP
pot.-nat. organ. Kohlenstoffvorräte
auf der Basis der Karte der nat. Vegetation Europas
- für Deutschland: Gefährdung von Wald- und Forstökosystemtypen
unter dem Einfluss von Umweltveränderungen
- für die neuen Bundesländer:
Kohlenstoffvorräte (C-Speicherung),
durchschnittliche jährliche NPP (C-Bindung)
für PNV / aktuelle Bestockung / Agrarflächen
- für das nordostdeutsche Tiefland auf der Basis von Forstämtern
bzw. -revieren:
Winteräsungsvorräte zur wildtierökologischen
Lebensraumbewertung
Pflanzenartenvielfalt (Artenzahl, Artendiversität)
Naturnähe
Verdunstung und Grundwasserneubildung
- für Kiefernforstökosysteme:
Emission klimarelevanter Spurengase



BULLETIN DER
**KANADISCHEN ZELLSTOFF-
UND PAPIERINDUSTRIE**

März 1997

1997/1

Klassifizierung von Forstökosystemen
Ein ökologischer Rahmen für die Forstwirtschaft

Mit der Klassifizierung von Ökosystemen wird ein wissenschaftlicher Rahmen für die Behandlung unterschiedlicher ökologischer Systeme geschaffen, der sowohl von der Industrie als auch von der Regierung in zunehmendem Maße als Orientierungshilfe für die Bewirtschaftung der kanadischen Wälder eingesetzt wird.

Ein wichtiges Instrument

Die kanadische Forstwirtschaft sieht in der Ökosystemklassifizierung ein wichtiges Instrument der nachhaltigen Forstwirtschaft. Sie ist außerdem einer der Bausteine des Systems der Zertifizierung einer nachhaltigen Forstwirtschaft, das neulich vom kanadischen Normungsverband verabschiedet wurde. Die Ausarbeitung des kanadischen Systems der Ökosystemklassifizierung ist eines der wichtigsten Elemente der kanadischen Waldstrategie.

Anwendung der Ökosystemklassifizierung

Eine ökosystemorientierte Forstwirtschaft beruht auf zwei Voraussetzungen:

- der Identifizierung und Klassifizierung von Forstökosystemen auf der Grundlage von Daten über Bäume, Pflanzen, Boden, Wasser, Klima, Landformen und Fauna,
- dem Wissen über die Funktion der Ökosysteme.

In Kanada fällt die Klassifizierung und Kartierung von Forstökosystemen in den Verantwortungsbereich der Provinzregierungen. Die im Außendienst tätigen

**Die Wissenschaft kann heute nur bestehen,
wenn es gelingt, ihre Ziele und Methoden darzulegen.
Dabei spielt nicht nur der zu vermittelnde Stoff
eine Rolle, sondern auch,
wie und durch wen dies geschieht.
Es geht nicht allein um die Vermittlung von Wissen,
es geht vor allem um die Bildung von Vertrauen.**

(Prof. Dr. Ernst-Ludwig Winnacker, Präsident d. DFG, 1999)