

Sprache (Language)

Grundlagen der Sprache (essentials of language)

Definition von Sprache (Language Proper):

Ein Set von Symbolen (=Morpheme, Phoneme, Wörter), die in einer bestimmten Regelmäßigkeit geformt und aneinandergesetzt sind (=Syntax) um Bedeutungsinhalte (= Semantik, Pragmatik) zu überbringen.

- *Morpheme* = kleinste Spracheinheit, der eine Bedeutung o. grammatikalische Funktion zugeordnet ist
- *Phoneme* = kleinste bedeutungsunterscheidende Einheit
- *Semantik* = Sinn und Bedeutung von Zeichen
- *Pragmatik* = kontextabhängige und nicht-wörtliche Bedeutungen

Sprachliche Informationsübertragung

- Um miteinander zu kommunizieren verschlüsselt der Sprecher eine sprachliche Mitteilung, die der Hörer entschlüsseln muss
- Um die Bedeutung der Mitteilung zu verstehen, müssen Hörer und Sprecher primär zwei Dinge leisten:
 1. Symbole (=Wörter) müssen Weltwissen zugeordnet werden
 2. Die regelhaften Wortfolgen (Regeln) müssen Bedeutungen zugeordnet werden
 - a) *Syntaktische Regeln* regulieren die Abfolge von Wörter und ihre Beziehungen zueinander (Wer tut was und zu wem?)
 - b) *Semantische Regeln* regulieren die Beziehungen zwischen den Wörtern und dem Weltwissen (z.B. Max liebt Marie vs. Marie liebt Max)
- Sowohl die Symbole, als auch die Regeln sind im Gedächtnis gespeichert und sind für die sprachliche Informationsübertragung gleichermaßen wichtig

Kognitive Operationen von Sprachverstehen und -produktion

A) Essentielle Operationen (supramodal = unabhängig von der Modalität)

1. Zuordnung zwischen Symbol und Bedeutung (→ Abruf aus dem Gedächtnis)
2. Anwendung von Regeln um das Decodieren und Encodieren zu strukturieren (→ Abruf aus dem Gedächtnis + Arbeitsgedächtnisoperation)
3. Pragmatische Interpretation (Handlungskontext) (→ Abruf aus dem Gedächtnis & Enkodierung)

B) Zusätzliche Operationen (modalitätsspezifisch)

Ergänzen das De- und Enkodierung von Sprache, sind dafür aber nicht zwingend notwendig

1. En- und Dekodierung der gesprochenen Sprache
 - En- und Dekodierung der Prosodie einer Aussage (Akzent, Intonation, Pausen)
 - Phonetische En- und Dekodierung = Analyse der Schallmuster in Phoneme
2. En- und Dekodierung der geschriebenen Sprache
3. En- und Dekodierung von Gesten

Sprache vs. nicht-sprachliche Kommunikation

- Nichtsprachliche Kommunikation weist eine starre Zuordnung zwischen Symbolen und Bedeutung auf
- Was Sprache im eigentlichen Sinne ausmacht und sie von nichtsprachlichen Kommunikationsformen unterscheidet ist, dass die Aneinanderreihung von Symbolen
 - a) **flexibel**
 - b) **rekursiv** (= syntaktische Regeln können wiederholt werden) und
 - c) **hierarchisch geordneten** (= Satzstrukturen sind ineinander eingebettet) sind.
- Nur der Mensch verfügt über Sprache, andere Spezies kommunizieren, aber auf eine nichtsprachliche Weise

Evidenz:

Viele Studien haben versucht, Primaten und Vögeln Sprache beizubringen, was jedoch nicht gelang

- Sie können feste Zuordnungen von Emotionen und Geräuschen (fixed emotion-sound-patterns) produzieren
- Sie können eine Assoziation zwischen Symbolen und Objekten lernen
- Sie lernen jedoch keine rekursiven und hierarchisch geordneten Aneinanderreihungen von Symbolen

Fitch & Hauser (2004): Studie zum Interspezienvergleich (Tamarin-Äffchen vs. Studenten) beim Erkennen grammatikalischer Unregelmäßigkeiten

Aufbau:

- Studenten und Tamarin-Äffchen wurden mit gesprochenen Silbenfolgen trainiert, die nach unterschiedlichen grammatischen Prinzipien konstruiert waren
 - 1) *Endliche Zustandsgrammatik*

Silben werden nach der Regel ABAB... dargeboten, wobei A und B Platzhalter für bestimmte Silben sind (z.B. A = „no“, „ba“; B = „li“, „pa“). Nach der Regel liegen also immer bestimmte Silben nebeneinander.

 - Regelhafte Abfolgen halten sich an diese Struktur (z.B. no-li-ba,-pa = ABAB)
 - Nicht regelhafte Abfolgen weichen von der Struktur ab (z.B. no-ba-li-ba = AABA)
 - 2) *Phrasenstrukturgrammatik* (hierarchische Abhängigkeiten)

Silben stehen in einer hierarchischen Abhängigkeit zueinander, sodass Silben miteinander verbunden sind, obwohl andere Silben dazwischen angeordnet sind
- Nach der Trainingsphase wurde getestet, ob die Regel gelernt wurde. Dafür wurden den Probanden bzw. Versuchstieren regelhafte und nicht regelhafte Silbenabfolgen präsentiert und es wurde überprüft, ob sie diese treffsicher voneinander unterscheiden können.

Ergebnisse:

- Die endliche Zustandsgrammatik wurde von beiden Gruppen korrekt gelernt: Sowohl die Affen, als auch die Studenten konnten reguläre und irreguläre Folgen treffsicher unterscheiden.
- Die geordnete Phrasenstrukturgrammatik wurde nur von den Studenten korrekt erlernt: Studenten ordneten reguläre und irreguläre Folgen korrekt ein, während die Orientierungsreaktionen der Affen dem Zufallsniveau entsprachen

Interpretation: Nur Menschen können rekursive und hierarchische Abhängigkeiten erlernen und unterscheiden

Methoden und Werkzeuge der Neurowissenschaften um Sprachfunktionen zu untersuchen

1. Psycholinguistische Experimente

- **Vorgehen:** gezielte Manipulation semantischer und syntaktischer Strukturen
- **Methoden:** Priming, Naming, Lexical Decisions
- **Abhängige Variablen:**
 1. Ratings, Lesezeiten, Antwortzeiten, Fehler
 2. Aufzeichnung der Augenbewegung: Fixierung, Fixierungszeiten, Regressionen

Beispiel: Fixierungsdauer ist abhängig von

 - a) Häufigkeit von Wörtern (häufige Wörter werden kürzer fixiert als seltene Wörter)
 - b) Vorhersagbarkeit von Wörtern (Wörter die durch den Kontext vorhersagbar sind, werden kürzer fixiert)
 - Hohe Vorhersagbarkeit: The great steel monument in Paris is called Tour Eiffel
 - Niedrige Vorhersagbarkeit: The little Village in Russia is located in a river called Oka.

2. Strukturelle, anatomische Maße

- Untersuchungen von Patienten mit lokalen Hirnläsionen und aphasischen Symptomen
- MRT und DTI (Diffusion Tensor Imaging; spezielle Analyse von MRT-Daten)

3. Aufzeichnung biologische Signale

- EEG (Elektroenzephalogramm), ERPs, Power und Phasen Spektren, Kohärenzmessungen
- BOLD-Signal in fMRT, PET, NIRS

Neuroanatomie sprachbezogener Hirnareale

Durch systematische Auswertung von Sprachdefiziten nach Hirnverletzungen wurden verschiedene Areale der dominanten, meist linken Hemisphäre bekannt, die für Sprachbeherrschung essenziell sind:

1. **Broca Areal** (Inferiorer präfrontaler Kortex, Brodmann-Areale (BA) 44, 45)
2. **Wernicke Areal** (superiorer Temporallappen, BA 22)
3. **Inferiorer Temporallappen** (BA 20 und inferiorer Bereich von BA 37)

Anmerkung: Zwar sind die genannten Areale für die Sprachbeherrschung essenziell, sodass ihre Beschädigung große Auswirkungen hat, allerdings ist mittlerweile bekannt, dass weiterer Hirngebiete bzw. weit verteilte Netzwerke am Sprachverstehen oder der Sprachproduktion beteiligt sind

Aphasien

= erworbene Störung der Sprache aufgrund einer Läsion (,die in 40% die Fälle die linke Hemisphäre und dabei vor allem den Temporallappen und PFC betrifft)

Ursache der Läsion

1. 85% Störung der Blutversorgung des Gehirns (Schlaganfall)
 - 3 Hauptarterien des Gehirns: A. cerebri media, A. cerebri anterior, A. cerebri posterior
2. 15% Tumor oder Verletzung

Symptome

1. Defizite in der Sprachproduktion
2. Defizite im Sprachverstehen

Formen von Aphasien

1. **Broca-Aphasie** (nichtflüssige Aphasie): Läsion in BA 44/45 (Inferiorer PFC Temporallappen)
 - a) Einschränkungen bei der Sprachproduktion
 - gestörte und angestrenzte Artikulation
 - Sprachlosigkeit
 - Wiederholung von Phonemen
 - eingeschränkte Wiederholungsleistung
 - b) Schwierigkeiten beim Verstehen komplexer grammatikalischer Strukturen (wurde erst später herausgefunden)
2. **Wernicke-Aphasie** (flüssige Aphasie): Läsion in BA 42/22 (Superiorer Temporallappen)

Flüssige, grammatikalisch weitgehend korrekte Sprache ohne Defizite in der Artikulation, aber Einschränkungen im Verstehen und Ausdrücken von Bedeutungsinhalten (Was Patienten sagen, macht häufig keinen Sinn)

 - Neologismen (Wortneuschöpfungen)
 - Anomien (Wortfindungsschwierigkeiten)
 - Eingeschränktes Verständnis sprachlicher Aussagen
 - Eingeschränkte Wiederholungsleistung
3. **Alexie und Agraphie**: Läsion in BA22 (Gyrus Angularis)
 - Beeinträchtigung des Lesens (Alexie) bzw. Schreibens (Agraphie)
 - Keine Beeinträchtigung des auditorischen Verstehens und der stimmlichen Lautproduktion

Strukturelle Verbindungen zwischen den Spracharealen

1. **Dorsal Pathway I** [Verbindung vom Gyrus superior temporalis (STG) zum prämotorischen Cortex]
 - Zuständig für das Mapping von Lauten und Artikulation
 - Relevant für das Erlernen phonologischer Kompetenzen
2. **Dorsal Pathway II** [Verbindung vom STG zum BA44 im Broca-Areal]
 - Zuständig für die höhere Sprachverarbeitung (Syntax)
 - Relevant für das Erlernen syntaktischer Kompetenzen
 - Pathway ist erst im Alter von 6-8 Jahren voll entwickelt, was erklären könnte warum Sprache im Erwachsenenalter anders gelernt wird als im Kindesalter
3. **Ventral Pathway I und II** [Verbindung vom STG zum BA45 im Broca-Areal (I) bzw. zum FOP(II)]
 - Zuständig für das Mapping von Lauten und Bedeutung
 - Relevant für die lexikalische Kontrolle

Funktion des Broca-Areals

- Grodinsky & Santi (2008) diskutieren kontrovers, ob das Broca-Areal spezifisch auf die Verarbeitung von Sprache ausgerichtet ist

- Sie stellen unterschiedliche Hypothesen hinsichtlich sprachspezifischer und nicht-sprachlicher Funktionen des Broca-Areals auf, die alle (zumindest teilweise) zu stimmen scheinen

Sprachspezifische Funktionen des Broca-Areals

1. syntaktische Komplexität (syntactic complexity)
2. syntaktische Verschiebung (syntactic movement)
3. syntaktische Strukturbildung (syntactic structure building)
4. thematische Rollenzuweisung (thematic role assignment)

Mögliche nicht-sprachliche Funktionen des Broca-Areals

1. Wahrnehmung von Handlungen (action perception) als Teil des Spiegelneuronensystems (z.B. nicht nur Wörter, sondern auch abstrakte, symbolische Repräsentationen von Bedeutungen wie Gesten)
2. Aufrechterhaltung von Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis
3. Kontrolle über den Abruf von Gedächtnisinhalten aus dem Langzeitgedächtnis

Syntaktische Zerlegung

= Das System muss die regelhaften Abhängigkeiten in der Sprache erkennen bzw. analysieren und korrekte Zuordnungen treffen (z.B. wer ist Subjekt/Objekt?) um eine Aussage zu verstehen.

→ Traditionell wird diese Funktion dem Broca Areal zugeschrieben (wird allerdings kontrovers diskutiert s.o.)

Syntaktische Phänomene

Für die Eingrenzung der biologischen Korrelate der syntaktischen Zerlegung sind drei syntaktische Phänomene besonders bedeutsam:

1. Zuordnung (merge)

= flexible Zuordnung von lexikalischen Einträgen zu syntaktischen Strukturen

- Phrasen sind Schemata, deren Platzhalter mit bestimmten lexikalischen Einträgen ausgefüllt werden können (z.B. „Nomen“ + „Verb“ wird durch „Ich“ + „gehe“ ersetzt.)
- Phrasenstrukturregeln legen fest, welche Wörter mit welchen anderen Wörtern verbunden werden dürfen. Die genaue Struktur hängt davon ab um welches Verb es sich handelt. z.B. braucht das Verb „schenken“ nicht nur einen Agenten, sondern auch ein Objekt und ggf. einen Rezipienten („Tom schenkt Marie ein Buch“)

2. Verschiebung (movement)

= Grammatisch markierte Elementen können nach übergeordneten Transformationsregeln von ihrer kanonischen Position an eine nichtkanonische Position in einem Satz verschoben werden

Beispiele:

- a) *Fragenbildung*: „Hillary contacted the senator“ (Agent, Verb, Objekt) vs. „Which senator did Hillary contacted? (Objekt, Agent, Verb)
- b) *Scrambling* (Verschiebung des thematischen Fokus): „Dann hat der Vater dem Sohn den Lutscher gegeben“ vs. „Dann hat den Lutscher dem Sohn der Vater gegeben“

3. Bindung (binding)

- = Flexible Anbindung neuer Elemente an bereits zuvor verarbeitete Elemente
- Durch sogenannte anaphorische Verweise, die ein neu eingeführtes Element auf ein bereits vorgekommenes Element (=Antezedent) beziehen, können Satzteile und ganze Sätze nahezu beliebig aneinandergelinkt werden

Biologische Korrelate der syntaktischen Zerlegung

Studien zum grammatikalischen Verständnis von Patienten mit Broca-Aphasie

Ablauf:

- Patienten werden Sätze mit komplexen grammatikalischen Struktur vorgelesen
 - a) Objekt vs. Subjekt in Relativsätzen
 SO: The cat that chased the dog was very big.
 OS: The cat that the dog chased was very big.
 - b) aktiv vs. passiv
 aktiv: The mother dried the girl.
 passiv: The girl was dried by the mother.
- Das Verständnis der Sätze wird getestet, indem die Patienten aus verschiedenen Bildern, das Bild auswählen sollen, das zu der im Satz beschriebene Handlung passt

Ergebnis: Patienten mit Läsionen im Broca-Areal machen in dieser Aufgabe häufig Fehler, was darauf hinweist, dass sie Schwierigkeiten beim Verstehen komplexer grammatikalischer Strukturen haben

fMRT-Studie zur Verschiebung (Santi & Grodzinsky, 2007)

Aufgabe:

- Gesunde Probanden hörten im MRT Sätze bei denen die Verschiebung von Phrasen aus ihrer

(a) MOV0 The mailman and the mother of Jim love **the woman** who Kate burnt [].
 MOV1 The mother of Jim loves **the woman** who the mailman and Kate burnt [].
 MOV2 Kate loves **the woman** who the mailman and the mother of Jim pinched [].

kanonischen Position gezielt manipuliert wurde

- Zwischen der verschobenen und der kanonischen Position konnten entweder keine, eine oder zwei weitere Nominalphrasen (NP) stehen, wobei davon ausgegangen wurde, dass mehr Transformationsaufwand nötig ist, je weiter die aktuelle Position von der kanonischen Position entfernt ist

Ergebnis: Die Stärke der Aktivierung im Linken inferioren frontalen Gyrus (LIFG, Teil des Broca Areals) steigt systematisch mit dem Abstand zwischen verschobener und kanonischer Position (d.h. mit Anzahl intervenierender Nominalphrasen)

Interpretation: Ergebnis ist ein starkes Indiz dafür, dass der LIFG systematisch an der Entschlüsselung entsprechender grammatikalischer Transformationen beteiligt ist

fMRT-Studie: Syntaktische Komplexität und Arbeitsgedächtnis im IFG (Makuuchi et al, 2009)

- Gesunde Probanden wurden Sätze vorgelesen, bei denen sowohl die syntaktische Komplexität (linearer vs. verschachtelter Satz), als auch die Leistung des Arbeitsgedächtnisses (kurzer vs. langer Satz) manipuliert wurde
- Die Hirnaktivierung während der Aufgabe (fMRT) weist darauf hin, dass syntaxbezogenen Aspekten und gedächtnisbezogene Aspekte in unterschiedlichen Bereichen des IFG repräsentiert sind, diese jedoch funktionell und anatomisch miteinander verbunden sind

EEG-Studien in der Sprachforschung

Sprachbezogene ERPs (event-related-potentials)

1. **ELAN**: early left anterior negativity
2. **LAN**: Left anterior negativity
3. **N400**: Negative ERP-Komponente (Negativierung) ca. 400ms nach Einsetzen des Stimulus
4. **P600**: Positive ERP-Komponente (Positivierung) ca. 600ms nach Einsetzen des Stimulus

Der N400 Effekt

= Phänomen einer Negativierung im EEG, dass immer dann auftritt, wenn eine aus dem Kontext entwickelte semantische Erwartung durch die gerade wahrgenommene Information nicht erfüllt wird

Entdeckung des N400-Effekts (Kutas & Hillyard, 1980)

Aufbau:

- Probanden wurden Sätze dargeboten, wobei jedes Wort einzeln auf dem Bildschirm erschien
- Die Sätze endeten in Bezug auf den vorherigen Kontext entweder kongruent oder inkongruent:
 - a) Kongruent (z.B. Er trank seinen Tee mit Zucker und *Milch.*) oder
 - b) Inkongruent (z.B. Er trank seinen Tee mit Zucker und *Senf*)
- Mittels EEG wurden die evozierten Potentiale, die vom letzten Wort ausgelöst wurden, verglichen

Ergebnisse:

- In der inkongruenten Bedingung zeigte sich eine Negativierung, die ihr Maximum nach 400ms erreichte
- Eine zum Vergleich dargebotene physikalische Abweichung des letzten Wortes (z.B. Schriftgröße, Schrifttyp, Farbe) löste keine Negativierung, sondern eine ausgeprägte Positivierung (P560) aus

Generalisierbarkeit des N400 Effekts (Rösler, Streb, Haan, 2001)

Verschiedene Studien konnten den N-400 Effekt in unterschiedlichen Kontexten nachweisen

1. Haan et al. 2009

Studie konnte zeigen, dass nicht nur ein inhaltlich inkongruentes letztes Wort in einem Satz, sondern auch ein inkongruentes Ergebnis in einer zuvor präsentierten Rechenaufgabe den N-400 Effekt erzeugt

2. Röser, Streb, Haan (2001)

Ablauf: Probanden wurden nach einander zwei Worte (Verben vs. Nomen) präsentiert, die inhaltlich entweder in hoch (z.B. Tee -Kaffe), mittel (z.B. Tee – Milch) oder gar nicht (z.B. Tee – Schuh) assoziiert waren

Ergebnisse: Für beide Wortkategorien (Verben und Nomen) treten vergleichbare N400-Effekte auf, deren Amplitude mit Abnahme der assoziativen Bahnung größer wird.

Interpretation:

- Je weniger ein lexikalischer Eintrag durch den Hinweisreiz voraktiviert wird, umso größer wird die Amplitude der N400
- Die Amplitude der N400 scheint somit eine zusätzliche „Suchaktivität“ im lexikalischen Gedächtnis abzubilden (= biologisches Korrelat für Gedächtniszugriffs)
- Die Differenz zwischen den Amplituden beschreibt das Ausmaß der kontextabhängigen Bahnung (Voraktivierung) im Langzeitgedächtnis

Der P600 Effekt

= Phänomen einer Positivierung im EEG, welches bei grammatikalischen Fehlern oder anderen syntaktischen Anomalien auftritt

Hagoort et al. (1993)

- Probanden wurden Sätze mit und ohne grammatikalische Fehler präsentiert
- Bei Fehlern (= Diskrepanz zwischen Erwartung und aktuellem Input) konnte im EEG ein positive ERP-Komponente (ca. 600ms nach Stimuluspräsentation) gemessen werden
- P600 scheint damit ein biologisches Korrelat für einen Prozess von Reparatur und der Reanalyse darzustellen

Syntax und Semantik im Vergleich

Tabellarischer Vergleich

	Syntax	Semantik
Prozesse, die durch entsprechende Aufgaben ausgelöst werden	<ul style="list-style-type: none"> • Gedächtnisaktivierung bzw. Gedächtnisabruf von Regeln • Kontrolle von Zuordnungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Gedächtnisaktivierung • Kontrolle während des Gedächtniszugriffs
Funktionelle Anatomie von Syntax und Semantik	<i>frontale Areale</i> (BA 44/45): Kontrolle von Abruf und Zuordnung	<i>posteriore Areale</i> (BA22, 39, 40): spezifische Repräsentation von Symbolassoziationen (Assoziation von Wort und Bedeutung)
ERP Komponenten von Syntax und Semantik	<ul style="list-style-type: none"> • <i>P600</i>: Reparatur und Reanalyse • <i>LAN</i>: Kennzeichnung von Wechselspiel zwischen Morphologie und Syntax (Morphosyntax) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>N400</i>: (Vor-)Aktivierung des Langzeitgedächtnisses • <i>ELAN</i>: Kategorisierung von Wörtern

Meta-Analyse zu Gemeinsamkeiten von Semantik und Syntax (Hagoort & Indefrey, 2014)

- Traditionelle funktionelle Zuordnung von Broca-Areal (= syntaktische Verarbeitung) und Wernicke-Areal (= semantische Verarbeitung) ist überholt
- Trotzdem bestehen übergeordnete anatomische Differenzen zwischen Arealen, die vor allem bei der semantischen Verarbeitung aktiviert sind und solchen die vor allem bei der syntaktischen Verarbeitung aktiviert sind

Sprachnetzwerke im Gehirn (Fedorenko & Thomson-Schill, 2014)

Aufbau: fMRT-Studie, in der die Aktivität verschiedener sprachrelevanter Hirnregionen (z.B. Sprachwahrnehmungsregion, Artikulationsregion usw.) bei der Bearbeitung unterschiedlicher Aufgaben zum Sprachverstehen und Sprachproduktion gemessen wurde

Ergebnis: In Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabe und der gewählten Baseline immer unterschiedliche Netzwerke aus verschiedenen sprachrelevanten Hirnregionen aktiv sind

Interpretation:

- Die klassische Theorie, dass bestimmte, voneinander abgrenzbare Netzwerke (Areal) für bestimmte Sprachfunktionen zuständig sind, scheint wenig realistisch zu sein
- Realistischer ist die Annahme, dass sich bestimmte, voneinander abgrenzbare Areale für bestimmte Sprachfunktionen temporär zu einem Netzwerk zusammenschließen.